

# การออกแบบเครื่องให้ความร้อนแก๊ไดอิเล็กตริก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2556

# **DESIGN OF DIELECTRIC HEATING SYSTEM**

**Kongsak Ratniyomchai**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Telecommunication Engineering**

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2013**

## การออกแบบเครื่องให้ความร้อนแก๊สอิเล็กทรอนิกส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---

(ผศ. ดร.ชุตินา พรหมมาก)

ประธานกรรมการ

---

(ผศ. ดร.ชาญชัย ทองโสภณ)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

---

(ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์)

กรรมการ

---

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

---

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

คงศักดิ์ รัตนนิมิตต์ : การออกแบบเครื่องให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก (DESIGN OF DIELECTRIC HEATING SYSTEM) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภา, 116 หน้า.

การให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก (dielectric heating) ได้รับความสนใจอย่างมาก และมีการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ทั้งทางด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทางการแพทย์และทางการเกษตร เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงและประหยัดพลังงาน ซึ่งลักษณะของการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก ทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านคลื่นความถี่วิทยุส่งผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ โดยวัสดุที่สามารถใช้การให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริกได้จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ จะต้องเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้ว ส่วนใหญ่จะใช้ในงานอุตสาหกรรมครัวเรือนหรืออุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมการอบแห้ง การถนอมอาหารและการกำจัดแมลงศัตรูพืช เป็นต้น ซึ่งการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก ที่ย่านคลื่นความถี่วิทยุ โดยส่วนใหญ่จะออกแบบเป็นวงจรขยายสัญญาณ ใช้ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ ในการให้ความร้อน ซึ่งงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบเครื่องให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริกย่านคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังเนื้อวัสดุ โดยประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ ภาควงจรขยายสัญญาณกำลังสูง (power amplifier) ซึ่งวงจรถ่ายขยายสัญญาณกำลังสูงใช้มอสเฟตเบอร์ BLF578 ออกแบบเป็นคลาสเอบีแบบพูลสำหรับเป็นแหล่งจ่ายกำลังงาน ส่วนที่สองคือ โหลดซึ่งเป็นแผ่นเพลตจะเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก และสามารถนำเครื่องที่ได้ออกแบบนำไปประยุกต์ใช้ในการให้ความร้อนสำหรับวัสดุไดอิเล็กตริกต่อไป

KONGSAK RATNIYOMCHAI : DESIGN OF DIELECTRIC  
HEATING SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. CHANCHAI  
THONGSOPA, Ph.D., 116 PP.

#### RADIO FREQUENCY CIRCUIT/POWER AMPLIFIER/DIELECTRIC HEATING

Nowadays, the dielectric heating technique are extremely interested and widely applied for industry, medical profession, and agricultural. Because of the dielectric heating has highly efficiency and be saved energy of the system. A feature of dielectric heating function using radio frequency electromagnetic waves which are transmitted in material. the material that can be used to heat the dielectric, it must be qualified material that respond to electromagnetic waves. In other words, the material could be polar molecules structure, which is mostly applied for household and large industries, e.g. ceramic industry heating is mostly designed by using an amplified circuit at radio frequency of 65 MHz . In this research thesis the dielectric heating is designed at radio wave frequency by using transmitted electromagnetic waves principle into material. The two main components of the system the power amplifier and load. The power amplifier is a MOSFET BLF578 to design push pull circuit in AB class for the power supply. Moreover, the electromagnetic field is constructed by using the plate to heat a dielectric. Furthermore, the dielectric heating technique can be adapted to heat for dielectric material.

School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2013

Student's Signature \_\_\_\_\_

Advisor's Signature \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภาก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภาอุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ กระจอดนอก อาจารย์ ดร.บุญส่ง สุตะพันธ์ และอาจารย์ ดร.ชนเสฏฐ์ ทศศิกรพัฒน์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ทางวิชาการและให้โอกาสในการศึกษา

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่าน ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู ให้ความรักความอบอุ่น และให้การสนับสนุนทางการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด อีกทั้งเป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ในยามที่ผู้วิจัยท้อแท้และท้อใจ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดา รวมถึงญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบัน จนสำเร็จการศึกษาไปด้วยดี

คงศักดิ์ รัตนนิมชัย

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	ฎ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขีดตกลงเบื้องต้น .....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย .....	2
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย .....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
1.7 ปรัชญาบรรณกรรม .....	3
1.8 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์ .....	8
<b>2 ทฤษฎีวงจรความถี่วิทยุและการให้ความร้อนแก่ไดโอดีล็คทริก .....</b>	<b>10</b>
2.1 กล่าวนำ .....	10
2.2 หลักการให้ความร้อนแก่ไดโอดีล็คทริก .....	10
2.2.1 คุณสมบัติของไดโอดีล็คทริก .....	10
2.2.2 กลไกการให้ความร้อนแก่ไดโอดีล็คทริก .....	12
2.3 หลักการพื้นฐานของการกระจายความร้อนด้วยคลื่นสนามไฟฟ้า .....	14
2.3.1 หลักการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า .....	14
2.3.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series resonance circuit) .....	15

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4	วงจรรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ.....	16
2.4.1	คุณลักษณะวงจรรขยายสัญญาณ.....	17
2.4.2	การออกแบบวงจรรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุแบบ พุช-พูล.....	18
2.4.3	บาลัน (BALUN) .....	19
2.4.4	การเคลื่อนที่ของคลื่นสัญญาณผ่านสายโอแอกเซียล .....	20
2.4.5	มอสเฟตทรานซิสเตอร์ (MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) .....	22
2.4.6	การแมตซ์อิมพีแดนซ์ของวงจรรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ .....	25
2.5	สรุป .....	32
3	<b>การออกแบบวงจรรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและแผ่นเพลต สำหรับเครื่องให้ความร้อนแกไคโอเล็กตริก</b> .....	34
3.1	กล่าวนำ .....	34
3.2	การออกแบบวงจรรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุ .....	34
3.2.1	การออกแบบบาลันโดยการวนแผนภูมิสมิท .....	37
3.2.2	การออกแบบวงจรมแมตซ์อิมพีแดนซ์โดยการวนแผนภูมิสมิท.....	41
3.2.3	การออกแบบบาลันโดยใช้โปรแกรม Smith V3.10 .....	44
3.2.4	การออกแบบวงจรมแมตซ์อิมพีแดนซ์โดยใช้โปรแกรม Smith V3.10.....	50
3.2.5	วงจรรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุที่ความถี่ 65 เมกกะเฮิรตซ์.....	55
3.3	การออกแบบแมตซ์อิมพีแดนซ์แผ่นเพลตสำหรับเครื่องให้ความร้อนแกไคโอเล็กตริก.....	63
3.3.1	การวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนแกไคโอเล็กตริก .....	65
3.3.2	การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นในไคโอเล็กตริก .....	65
3.3.3	การพิจารณาพลังงานและความถี่ที่เหมาะสมต่ออัตรา การเกิดความร้อนแกไคโอเล็กตริก .....	67
3.3.4	การวิเคราะห์กำลังงานของเครื่องสำหรับการให้ความร้อน แกไคโอเล็กตริก.....	71
3.4	สรุป .....	74



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

<b>4</b>	<b>การและผลการทดลอง.....</b>	<b>75</b>
4.1	กล่าวนำ .....	75
4.2	การวัดและเก็บผลการทดลองวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุ สำหรับเครื่องให้ความร้อนแก่วายัดรีดรีด.....	75
4.2.1	วงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุ .....	75
4.3	การวัดและเก็บผลการให้ความร้อนแก่วายัดรีดรีดผ่านแผ่นเพลต.....	82
4.4	สรุป.....	88
<b>5</b>	<b>สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>89</b>
5.1	สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ .....	89
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ .....	90
5.3	แนวทางการพัฒนาในอนาคต .....	90
	รายการอ้างอิง .....	91
	ภาคผนวก .....	93
	ภาคผนวก ก. รายละเอียดข้อมูลทรานซิสเตอร์เบอร์ BLF578 .....	93
	ภาคผนวก ข. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ .....	108
	ประวัติผู้เขียน .....	116

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของ BLF578 .....	24
3.1 แสดงค่าอินพุต / เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ ที่ได้จากการคำนวณ.....	37
3.2 ตารางแสดงค่าองค์ประกอบในแผนภูมิสมิทของวงจรบาลันทางด้านอินพุต.....	46
3.3 ตารางแสดงค่าองค์ประกอบในแผนภูมิสมิทของวงจรบาลันทางด้านเอาต์พุต.....	48
3.4 ตารางแสดงค่าองค์ประกอบในแผนภูมิสมิทของวงจรแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์ ด้านอินพุต.....	51
3.5 ตารางแสดงค่าองค์ประกอบในแผนภูมิสมิทของวงจรแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์ ด้านเอาต์พุต.....	54
3.6 ตารางแสดงค่าต่าง ๆ ของวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุด้านอินพุต.....	58
3.7 ตารางแสดงค่าต่าง ๆ ของวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุด้านเอาต์พุต.....	60
3.8 ค่าความหนาแน่นของกำลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดูเลเตอร์ ณ เวลาใดๆ.....	66
3.9 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนในตัวมอดูเลเตอร์ในแต่ละ ช่วงความถี่โดยใช้เวลา 5 วินาที.....	68
3.10 ค่าความความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เวลาใด ๆ.....	70
3.11 แสดงผลการคำนวณแรงดันตกคร่อม กรแสดงภายในวงจรและกำลังงานของแหล่งจ่าย ที่เวลาใดๆ.....	72
4.1 ค่าจากการทดลองวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์.....	78
4.2 ค่าที่ได้จากการคำนวณของวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์.....	79
4.3 แสดงอัตราการตายของมอดูเลเตอร์โดยใช้เวลา 10 วินาทีที่ กำลังงาน 20 - 200 วัตต์.....	85
4.4 แสดงอัตราการตายของมอดูเลเตอร์โดยใช้เวลา 5 วินาทีที่ กำลังงาน 140 - 240 วัตต์.....	86
4.5 แสดงอัตราการตายของมอดูเลเตอร์โดยใช้เวลา 1 วินาทีที่ กำลังงาน 340 - 420 วัตต์.....	88

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	หลอดแมกนีตรอนที่ใช้เป็นแหล่งกำลังงานสำหรับให้ความร้อนแก่ไดโอดีลิกตริก..... 4
1.2	การเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าและไดโพลเนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้า..... 5
1.3	การให้ความร้อนแก่ไดโอดีลิกตริกย่านความถี่วิทยุและย่านความถี่ไมโครเวฟ กับมอดข้าวสาธิตจนมีอัตราการตายที่ 99-100%..... 6
1.4	การใช้คลื่นความถี่ 39 MHz และ 2450 MHz เปรียบเทียบกับอุณหภูมิ ของข้าวสาธิตต่อการตายของมอดข้าว ..... 7
1.5	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดโอดีลิกตริก กับความถี่ของมอดข้าวและข้าวสาธิต ..... 8
2.1	โครงสร้างวงจรเครื่องให้ความร้อนแก่ไดโอดีลิกตริก ..... 11
2.2	อะตอมระหว่างประจุบวกต่อประจุลบของตัวกลาง..... 12
2.3	วงจรชีวิตมอดข้าว..... 13
2.4	รูปแบบตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ..... 14
2.5	วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม..... 16
2.6	ลักษณะวงจรขยายสัญญาณ..... 17
2.7	แสดงโครงสร้างของวงจรขยายกำลังสัญญาณคลื่นวิทยุแบบพวง - พูล..... 19
2.8	แสดงการทำงานของบาลัน..... 19
2.9	แสดงโครงสร้างของบาลัน..... 20
2.10	แสดงขนาดของสายโคแอกเซียล ..... 21
2.11	แสดงรูปแบบมอสเฟต BLF578 ..... 23
2.12	กราฟแสดงอินพุตและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของมอสเฟต ..... 24
2.13	โครงข่ายแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์..... 25
2.14	โครงข่ายแมตซ์ชิงอินพุตอิมพีแดนซ์..... 26
2.15	โครงข่ายแมตซ์ชิงเอาต์พุตอิมพีแดนซ์..... 26
2.16	โครงสร้างของแผนภูมิสมิท..... 27
2.17	การกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิท..... 28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.18 ทิศทางการเคลื่อนที่ของการแมตซ์อุปกรณ์บนแผนภูมิสมิท.....	29
2.19 การอ่านค่าความยาวของส่วน โคงบนแผนภูมิสมิท.....	30
2.20 แสดงการแมตซ์อิมพีแดนซ์บนแผนภูมิสมิท โดยใช้โปรแกรม Smith V3.10.....	31
2.21 แสดงวงจร โครงข่ายแมตซ์อิมพีแดนซ์.....	32
3.1 โครงสร้างของเครื่องให้ความร้อนแก๊วไดอิเล็กตริกที่ออกแบบ.....	34
3.2 การหาค่าความยาวบนแผนภูมิสมิทเพื่อจำกัดค่าจริงด้านบาลันอินพุต.....	38
3.3 วงจร โครงข่ายแมตซ์ซึ่งบาลันอินพุต.....	39
3.4 การหาค่าความยาวบนแผนภูมิสมิทเพื่อจำกัดค่าจริงด้านบาลันเอาต์พุต.....	40
3.5 วงจร โครงข่ายแมตซ์ซึ่งบาลันเอาต์พุต.....	41
3.6 การหาค่าความยาวบนแผนภูมิสมิทเพื่อจำกัดค่าจริงด้านแมตซ์อิมพีแดนซ์อินพุต.....	42
3.7 วงจร โครงข่ายแมตซ์อิมพีแดนซ์อินพุต.....	43
3.8 การหาค่าความยาวบนแผนภูมิสมิทเพื่อจำกัดค่าจริงด้านแมตซ์อิมพีแดนซ์เอาต์พุต.....	43
3.9 วงจร โครงข่ายแมตซ์อิมพีแดนซ์เอาต์พุต.....	44
3.10 แสดงการวางแผนภูมิสมิทเพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า และค่าความจุไฟฟ้าของวงจรบาลันทางด้านอินพุต.....	45
3.11 วงจร โครงข่ายแมตซ์ซึ่งของวงจรบาลันทางด้านอินพุต.....	46
3.12 แสดงความยาวของสายโคแอกเซียลและค่าความจุไฟฟ้าสำหรับแมตซ์ซึ่งบาลันอินพุต.....	47
3.13 แสดงการวางแผนภูมิสมิทเพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า และค่าความจุไฟฟ้าของวงจรบาลันทางด้านเอาต์พุต.....	48
3.14 วงจร โครงข่ายแมตซ์ซึ่งของวงจรบาลันทางด้านเอาต์พุต.....	48
3.15 แสดงความยาวของสายโคแอกเซียลและค่าความจุไฟฟ้าสำหรับแมตซ์ซึ่งบาลันเอาต์พุต.....	49
3.16 แสดงการวางแผนภูมิสมิทเพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า และค่าความจุไฟฟ้าของวงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต.....	50
3.17 วงจร โครงข่ายแมตซ์อิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต.....	51
3.18 แสดงความยาวของสายโคแอกเซียลและค่าความจุไฟฟ้าสำหรับแมตซ์ซึ่งด้านอินพุต.....	52

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.19 แสดงการวางแผนภูมิสมิทเพื่อหาค่าความเหนียวนำทางไฟฟ้า และค่าความจุไฟฟ้าของวงจรมอเตอร์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต.....	53
3.20 วงจรโครงข่ายแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต.....	54
3.21 แสดงความยาวของสายโคแอกเซียลและค่าความจุไฟฟ้าสำหรับแมตซ์ซึ่งด้านเอาต์พุต .....	55
3.22 โครงสร้างของวงจรวายอัสทรานซิสเตอร์ชนิด LDMOS.....	56
3.23 วงจรวายอัสทรานซิสเตอร์ LDMOS ที่ออกแบบ.....	57
3.24 วงขยายสัญญาณกำลังส่งสูงย่านความถี่วิทยุด้านอินพุต.....	58
3.25 วงขยายสัญญาณกำลังส่งสูงย่านความถี่วิทยุด้านเอาต์พุต.....	59
3.26 วงจรวายสัญญาณกำลังส่งสูงย่านความถี่วิทยุ.....	61
3.27 แผงวงจรมอเตอร์ที่พร้อมลงอุปกรณ์.....	61
3.28 แสดงแผงวงขยายสัญญาณกำลังส่งสูงย่านคลื่นวิทยุเมื่อลงอุปกรณ์สำเร็จ.....	62
3.29 วงจรที่ประกอบสำเร็จพร้อมทั้งติดตั้งระบบระบายความร้อน.....	62
3.30 วงจรวายสัญญาณที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์.....	63
3.31 แสดงการค่าตัวอุปกรณ์ที่ทำการแมตซ์ซึ่งแผ่นเพลต สำหรับการให้ความร้อนแก่ไดโอดีทริก .....	64
3.32 แผ่นเพลตที่ใช้ในการทดลองจริง.....	64
3.33 ความสัมพันธ์ของพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวต่อเวลา.....	67
3.34 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการให้ความร้อนในตัวมอดข้าวในแต่ละช่วงความถี่โดย ใช้เวลา 5 วินาที.....	69
3.35 ความสัมพันธ์ของความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการฆ่ามอดข้าวต่อเวลา.....	70
3.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายกำลังงานกับความเข้มสนามไฟฟ้า.....	73
3.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายกำลังกับระยะเวลา .....	74
4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงลักษณะการทดลองวงจรวายสัญญาณกำลังสูง.....	76
4.2 แสดงการวัดผลการทดลองวงจรวายสัญญาณกำลังสูง .....	76
4.3 แสดงสัญญาณอินพุตของวงจรวายสัญญาณกำลังสูง.....	77
4.4 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรวายสัญญาณกำลังสูง.....	77

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5	เปรียบเทียบอัตราขยายสัญญาณช่วงความถี่ 60 - 80 เมกะเฮิร์ตซ์ที่กำลังงานต่ำ..... 78
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณเอาต์พุต ( $P_{out}$ ) กับกำลังของสัญญาณอินพุต ( $P_{in}$ ) ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์..... 80
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย (Gain) กับกำลังของสัญญาณเอาต์พุต ( $P_{out}$ ) ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์..... 81
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงาน (Efficiency) กับกำลังเอาต์พุต ( $P_{out}$ ) ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ ..... 81
4.9	บล็อกไดอะแกรมแสดงลักษณะการวัดผลการให้ความร้อนผ่านแผ่นเพลต ..... 82
4.10	การวัดผลจริงสำหรับการให้ความร้อนแก่ไดโอดีคดริคผ่านแผ่นเพลต..... 83
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายของมอดข้าวเทียบกับกำลังงานที่ใช้ที่ เวลา 10 วินาที ..... 84
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายของมอดข้าวเทียบกับกำลังงานที่ใช้ที่ เวลา 5 วินาที..... 86
4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายของมอดข้าวเทียบกับกำลังงานที่ใช้ที่ เวลา 1 วินาที..... 87
4.14	แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณและผลการวัดจริง ..... 87

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$A$	=	amplitude
$K$	=	stability factor
S-parameter	=	scattering parameter
$S_{11}$	=	input reflection coefficient
$S_{12}$	=	reverse transmission coefficient
$S_{21}$	=	forward transmission coefficient
$S_{22}$	=	output reflection coefficient
$\Gamma$	=	reflection coefficient
$\Gamma_{in}$	=	input reflection coefficient
$\Gamma_{out}$	=	output reflection coefficient
$\Gamma_T$	=	load reflection coefficient
$\Gamma_S$	=	source reflection coefficient
$\Delta$	=	delta factor
$Z_{in}$	=	input impedance
$Z_{out}$	=	output impedance
$Z_S$	=	source impedance
$Z_L$	=	load impedance
$\epsilon_r$	=	relative permittivity
$\epsilon_0$	=	permittivity of free space
$\epsilon''$	=	dielectric loss factor of the material
$\mu_0$	=	permeability of free space
$f$	=	frequency
$\omega$	=	angular frequency
$C_p$	=	Specific heat of the material
$\rho$	=	density of the material
$E$	=	electric field intensity
$\Delta t$	=	time duration

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$\Delta T$	=	temperature rise in the material
IEEE	=	the Institute of Electrical and Electronics Engineers
MOSFET	=	metal oxide semiconductor field effect transistor





# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ที่ผ่านมาการให้พลังงานความร้อนแบบต่าง ๆ นั้นได้มีการนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือน เช่น อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมการอบแห้ง และการถนอมผลไม้ เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานความร้อนที่นำมาใช้นั้นมีหลากหลายรูปแบบ ทั้งการใช้แก๊ส การใช้ขดลวดความร้อน และการใช้คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งพลังงานความร้อนจากการใช้คลื่นความถี่วิทยุและความถี่ไมโครเวฟนั้นกำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถทำให้วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วสั้นและทำให้เกิดความร้อนได้อย่างรวดเร็ว (Oka., et al., 2011); (Li, Wang, and Zhu., 2010) โดยการให้ความร้อนในย่านคลื่นความถี่วิทยุ ดังที่ได้กล่าวมานั้นจะเป็นเทคนิควิธีการให้ความร้อนแก่วัสดุเล็กทรอนิกส์กับวัสดุที่เป็นอโลหะหรือวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้ว ซึ่งปัจจุบันนั้นได้มีการประยุกต์ใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการอบแห้งและอุตสาหกรรมการถนอมผลไม้ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้การให้ความร้อนแก่วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ดังกล่าวกับสิ่งมีชีวิตในกลุ่มของสัตว์พืชชนิดต่าง ๆ ในภาคการเกษตรได้ เช่น มอดข้าวหรือหนอนต่าง ๆ ที่อยู่ภายในผลิตผลหรือเมล็ดพืช เพื่อกำจัดได้เป็นอย่างดี (Nelson and Stetson., 1974b.); (Nelson., 1996) เนื่องจากโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตดังกล่าวมีของเหลวหรือมีโครงสร้างโมเลกุลที่สามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้ (Edward and Elena., 1997)

ดังนั้นจากความสำคัญของปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาและออกแบบการให้ความร้อนแก่วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดศัตรูพืช โดยผู้วิจัยจะทำการศึกษาการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ โดยทำการศึกษาและออกแบบวงจรการให้ความร้อนแก่วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ย่านคลื่นความถี่วิทยุที่สามารถปรับความถี่ให้เหมาะสม รวมถึงวิเคราะห์ผลกระทบของความถี่และกำลังงานที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรการให้ความร้อนแก่ไดโอดีล็กทริกย่านคลื่นความถี่วิทยุที่สามารถปรับความถี่ให้เหมาะสมกับวัสดุไดโอดีล็กทริก (มอดข้าว)

1.2.2 เพื่อทดสอบและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องให้ความร้อนแก่ไดโอดีล็กทริกที่ออกแบบและสร้างขึ้น

## 1.3 ข้อยกผล

1.3.1 ออกแบบวงจรการให้ความร้อนแก่ไดโอดีล็กทริกย่านความถี่วิทยุเพื่อให้ได้วงจรที่มีประสิทธิภาพสูง และความถี่ที่เหมาะสมกับวัสดุไดโอดีล็กทริก (มอดข้าว)

1.3.2 ออกแบบและสร้างวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุ

1.3.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรและการประยุกต์นำไปใช้งานต่อไป

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาหาข้อมูลในการออกแบบเครื่องให้ความร้อนแก่ไดโอดีล็กทริกย่านความถี่วิทยุเพื่อให้ได้วงจรที่มีประสิทธิภาพสูงและความถี่ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

1.4.2 ออกแบบและสร้างวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุ

1.4.3 ทดสอบผลการทดลองและเก็บผลการทดลอง

1.4.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของวงจรและการประยุกต์ใช้เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

## 1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 แนวทางการดำเนินงาน

- 1) สํารวจปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ศึกษาออกแบบและสร้างวงจรการให้ความร้อนแก่ไดโอดีล็กทริก
- 3) ทดสอบและวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลที่ได้และแก้ไขสรุปผลให้สมบูรณ์
- 4) จัดทำรายงาน
- 5) เผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

1.5.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

- 1) สํารวจปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2) ออกแบบวิเคราะห์การให้ความร้อนแก่ไดโอดีลิก เพื่อหาคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

3) วิเคราะห์คุณสมบัติและปรับแต่งจนได้อุปกรณ์ที่สมบูรณ์

#### 1.5.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย อาคารเครื่องมือ 3 (F3) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

#### 1.5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- 2) ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
- 3) โวลต์มิเตอร์ (Voltmeter)
- 4) เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ (Network analyzer)
- 5) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum analyzer)
- 6) เครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (Signal Generator)

#### 1.5.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจพิธีสนั้วรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 2) เก็บรวบรวมผลจากการออกแบบ สร้าง และวัดผลการทดสอบวงจรการให้ความร้อนแก่ไดโอดีลิก โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมและเครื่องกำเนิดความถี่

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องต้นแบบสำหรับการให้ความร้อนแก่ไดโอดีลิก ที่ทำการออกแบบและสร้างขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง เช่น การให้ความร้อนในการกำจัดแมลงศัตรูพืช ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นต้น

## 1.7 ปรัชสนั้วรณกรรม

เพื่อให้ทราบถึงแนวทางและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการดำเนินการวิจัย ตลอดจนปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้ โดยได้มีการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาและอาศัยฐานข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียง และได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE นอกจากนี้ยังได้มีการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ โดยจากผลการสืบค้นที่ได้นั้นจะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะได้

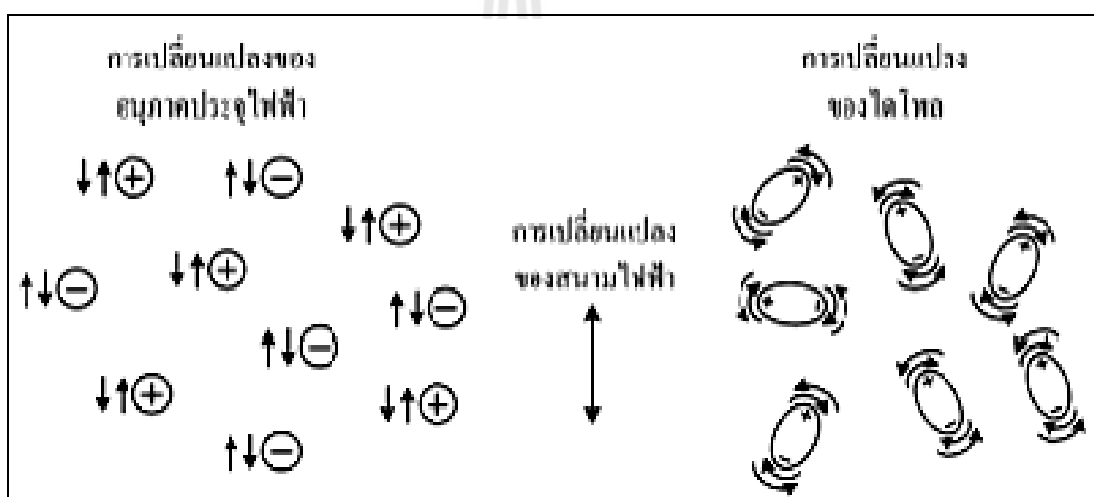
กล่าวถึง ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก รูปแบบแหล่งจ่ายกำลังงาน และลักษณะการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลที่ได้ มาวิเคราะห์และออกแบบลักษณะการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกให้มีความเหมาะสมและให้มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด โดยผลที่ได้จากการศึกษาข้อมูลมีดังหัวข้อต่อไปนี้

สำหรับในส่วนของวงจรแหล่งจ่ายกำลังงานเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่ง ซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้แหล่งกำลังงานคลื่นวิทยุจากหลอดแมกนีตรอน แสดงดังรูปที่ 1.1 โดยจากการศึกษาข้อมูลของการใช้หลอดแมกนีตรอนพบว่า มีประสิทธิภาพการให้กำลังงานไม่สูงมากนัก มีราคาแพง และเริ่มไม่มีการผลิตใช้งานในปัจจุบัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาหารูปแบบของแหล่งจ่ายกำลังงานที่มีประสิทธิภาพสูง ราคาไม่แพงและออกแบบง่าย ซึ่งพบว่า จากความก้าวหน้าทางด้านอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาไปอย่างมาก โดยสามารถออกแบบโดยใช้อุปกรณ์มอสเฟตเพียงตัวเดียวสามารถให้กำลังงานได้ถึง 1200 วัตต์ (Tsung-Chi, 2010) และพบว่า มีประสิทธิภาพการทำงานได้ถึงประมาณ 75 % ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิต สามารถออกแบบให้อยู่ในช่วงการทำงานที่กว้างได้ เนื่องจากสามารถออกแบบให้เหมาะสมในช่วงความถี่ที่ใช้งานได้ มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่จะนำมาทดแทนการใช้พลังงานจากหลอดแมกนีตรอนได้อย่างคุ้มค่า



รูปที่ 1.1 หลอดแมกนีตรอนที่ใช้เป็นแหล่งกำลังงานสำหรับให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก

วัสดุไดอิเล็กตริกสามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการใช้พลังงานที่มากระตุ้นที่อยู่ในรูปของ “คลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูง” ซึ่งกลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามไฟฟ้าไปกระตุ้นวัสดุที่มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย นั้น ๆ จากสถานะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นไดโพลที่มีผลต่อสนามไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการโพลาไรซ์ตามทิศทางของสนามไฟฟ้านั้น ซึ่งสนามไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถเกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้า เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคไฟฟ้า ภายใต้อิทธิพลของการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าจากภายนอก ทำให้เกิดเส้นทางการนำไฟฟ้าขึ้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 การเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าและไดโพลเนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้า

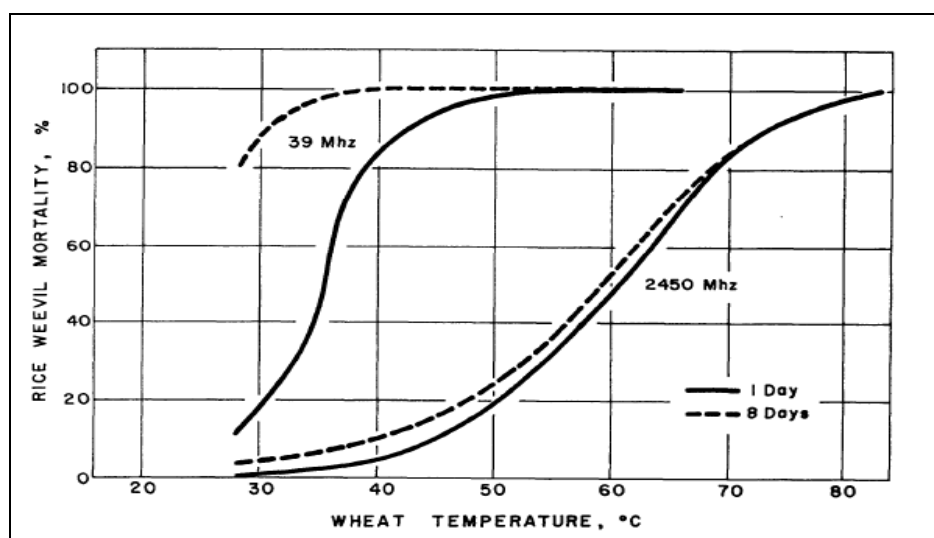
ในรูปที่ 1.2 เป็นการสลับกลับไปมาของการโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงสลับทิศทาง (ขั้ว) ไปมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานของการเกิดความร้อนโดยการใช้ “คลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูง” ในการให้ความร้อนกับตัวกลางวัสดุ ไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย โดยสำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นไปทางการให้ความร้อนเพื่อเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมแมลง การกำจัดแมลงที่อยู่ในธัญพืช นั่นคือการให้ความร้อนกับกลุ่มแมลงด้วยคลื่นความถี่วิทยุหรือคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษา ค้นคว้า การให้ความร้อนกับกลุ่มแมลงขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยของ Nelson (1996) ได้ทำการวิจัยเรื่องคลื่นความถี่วิทยุและความถี่ไมโครเวฟที่ 39 MHz และ 2450 MHz ในการหาช่วงความถี่ที่เหมาะสมในการฆ่ามอดข้าวดังแสดงในรูปที่ 1.3 และ รูปที่ 1.4

**Table 1. Reported host-media temperatures following RF and microwave dielectric heating exposures necessary for 99 to 100% insect mortality**

Species	Developmental Stage	Freq. (MHz)	Medium	Temp.* (°C)	Reference
Rice weevil, <i>Sitophilus oryzae</i> (L.)	Mixed immature	27	Wheat	56	Anglade et al., 1979
	Adult	39	Wheat	39	Nelson and Whitney, 1960
	Mixed immature	39	Wheat	61	Nelson and Whitney, 1960
	Adult	39	Wheat	40	Nelson and Stetson, 1974a
	Adult	2450	Wheat	83	Nelson and Stetson, 1974a
	Adult	2450	Wheat	> 60	Tateya and Takano, 1977
	Pupal	2450	Wheat	> 60	Tateya and Takano, 1977
	Larval	2450	Wheat	> 58	Tateya and Takano, 1977
	Egg	2450	Wheat	> 57	Tateya and Takano, 1977
	Granary weevil, <i>Sitophilus granarius</i> (L.)	All	13.6	Wheat	62
Egg		13.6	Wheat	61	Benz, 1975
Adult		27	Wheat	55	Anglade et al., 1979
Larval		27	Wheat	58	Anglade et al., 1979
Pupal		27	Wheat	61	Anglade et al., 1979
Adult		39	Wheat	41	Nelson and Kantack, 1966
Adult		39	Wheat	42	Nelson et al., 1966
Adult		2450	Wheat	86	Anglade et al., 1979
Adult		2450	Wheat	> 92	Hamid et al., 1968
Adult		2450	Wheat	> 57	Baker et al., 1956
Larval		2450	Wheat	> 82	Baker et al., 1956
Egg		2450	Wheat	> 72	Baker et al., 1956

รูปที่ 1.3 การให้ความร้อนแก่วัสดุเก็บรักษาความถี่วิทยุและย่านความถี่ไมโครเวฟกับมอดข้าวสาธิต จนมีอัตราการตายที่ 99-100%

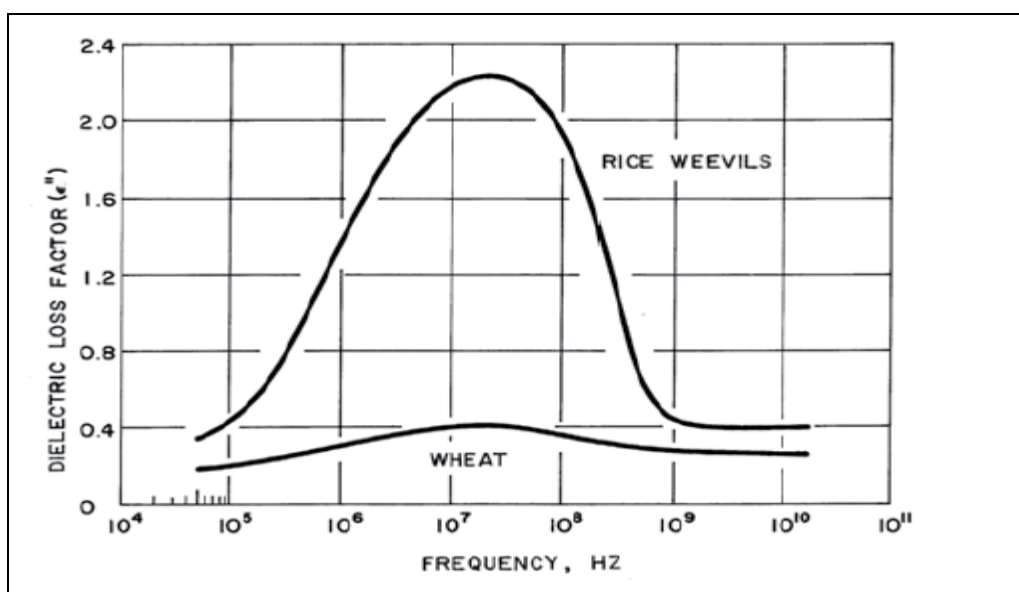
จากรูปที่ 1.3 จะเป็นการทดสอบกับมอดข้าวและมอดขี้ในข้าวสาธิต จะเห็นว่าที่ความถี่ 39 MHz ในตัวเต็มวัยของทั้งมอดข้าวและมอดขี้จะตายที่ 99 - 100% โดยที่อุณหภูมิในข้าวจะอยู่ที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าช่วงความถี่นี้ไม่ค่อยมีผลต่อข้าวมาก แต่เมื่อใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟ 2.45 GHz มอดข้าวและมอดขี้ก็ตายแต่อุณหภูมิข้าวสาธิตสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ข้าวสาธิตเสียหายจากความร้อนได้



รูปที่ 1.4 การใช้คลื่นความถี่ 39 MHz และ 2450 MHz เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของข้าว  
สาลีต่อการตายของมอดข้าว

จากรูปที่ 1.4 เป็นการพิจารณาเปอร์เซ็นต์การตายของมอดข้าวต่ออุณหภูมิของข้าวซึ่งจะเห็นได้ชัดถึงอุณหภูมิของข้าวเมื่อมอดข้าวตายที่ 80% ที่ความถี่ 39 MHz จะอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียสและถ้าปล่อยไว้เป็นเวลาประมาณ 8 วันก็จะตายเป็น 100% ถ้าอุณหภูมิข้าวอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียสมอดข้าวจะตาย 100% โดยไม่ต้องปล่อยทิ้งไว้ถึง 8 วัน ส่วนที่ความถี่ 2450 MHz อุณหภูมิของข้าวเมื่อมอดข้าวตาย 100% จะมากกว่า 80 องศาเซลเซียสและจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งจะทำให้ข้าวเสียหายได้ ดังนั้นจะเห็นว่าย่านความถี่วิทยุสามารถให้ความร้อนได้เหมาะสมมากกว่า ย่านความถี่ไมโครเวฟ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้กับมอดข้าว โดยใช้ ย่านความถี่วิทยุ และยังสามารถนำไปประยุกต์กับศัตรูพืชชนิดอื่น ๆ ต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยของ Nelson (1996) ได้นำเสนอว่าการตอบสนองทางความถี่ของมอดข้าวและข้าวสาลีที่มีผลต่อค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor) ดังแสดงในรูปที่ 1.5 โดยได้นำเสนอช่วงของการตอบสนองของมอดข้าวจะอยู่ในตั้งแต่ช่วงความถี่ประมาณ 50 kHz ถึงประมาณ 12 GHz แต่จะพบว่าช่วงความถี่ที่มีค่า ปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกที่ดีที่สุดของมอดข้าวอยู่ที่ความถี่ประมาณ 39 MHz โดยมีค่าเท่ากับ 2.24 ส่วนข้าวสาลีจะมีค่าน้อยมาก และพบว่าช่องความถี่ที่มีค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกสูงอยู่ในความถี่ประมาณ 5 MHz ถึงประมาณ 100 MHz จึงเป็นช่วงความถี่ที่ความเหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์และออกแบบได้ดีที่สุด



รูปที่ 1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกกับความถี่ของมอดข้าว และข้าวสาลี

โดยการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูงจำเป็นต้องมีตัวแปรหลักในการพิจารณาซึ่งประกอบด้วยย่านความถี่ที่ใช้งานปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเข้าสู่ตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย และกำลังงานที่ใช้ เนื่องจากเป็นสิ่งที่ต้องนำมาวิเคราะห์ เพื่อนำไปสู่การออกแบบวงจรกำเนิดความถี่และตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้า ให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สามารถให้กำลังงานสนามไฟฟ้าไปยังตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย เพื่อให้เกิดความร้อนขึ้นได้ ดังนั้นขนาดและรูปแบบของตัวสร้างสนามไฟฟ้าจึงเป็นส่วนสำคัญที่ต้องนำมาวิเคราะห์ เพื่อให้ได้รูปแบบการใช้งานและการใช้กำลังงานที่เหมาะสมที่สุด

## 1.8 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท และ ภาคผนวก

บทที่ 1 กล่าวถึง บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดในวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีวงจรรขยายสัญญาณย่านความถี่วิทยุ ทฤษฎีหลักการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกและหลักการพื้นฐานของการกระจายความร้อนด้วยคลื่นสนามไฟฟ้า



บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุสำหรับเครื่องให้ความร้อนแก๊สไดอิเล็กตริก และการออกแบบตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลต

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและการวัดทดลองคุณสมบัติต่าง ๆ ของระบบวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านคลื่นความถี่วิทยุสำหรับเครื่องให้ความร้อนแก๊สไดอิเล็กตริก และการให้ความร้อนด้วยแผ่นเพลตกับมอดข้าว

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปผลการวัดการทดลองและคุณสมบัติของการให้ความร้อนแก๊สไดอิเล็กตริก โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับการสรุปผลการวิจัยของวงจรในบทต่าง ๆ ทั้งหมด ปัญหาที่เกิดขึ้น ข้อเสนอแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหา และแนวทางการพัฒนาในอนาคต

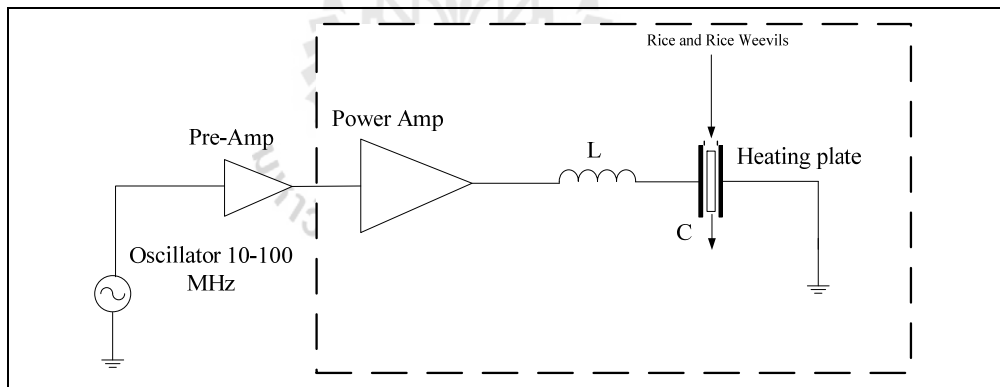


## บทที่ 2

### ทฤษฎีวงจรรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก

#### 2.1 บทนำ

การศึกษา และเข้าใจถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย มีความสำคัญและมีประโยชน์อย่างมากในการดำเนินงาน เพื่อให้เป็นพื้นฐานของความรู้และความเข้าใจในงาน สามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิงในการดำเนินงานวิจัยนั้น ดังนั้นในบทนี้จึงได้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยจะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่เป็นประโยชน์หรือกล่าวอ้างถึงต่อการดำเนินงานวิจัย โดยงานวิจัยนี้จะทำการศึกษา คือ หลักการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก ทฤษฎีพื้นฐานของการกระจายความร้อนด้วยคลื่นสนามไฟฟ้า และภาควงจรรขยายสัญญาณคลื่นความถี่กำลังสูง โดยทำการแมตช์ซิ่งกับโหลดที่เป็นแผ่นเพลตดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยจะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่เป็นประโยชน์หรือกล่าวอ้างถึงต่อการดำเนินงานวิจัย ทั้งนี้เพื่อให้เนื้อหา มีความกระชับและชัดเจน



รูปที่ 2.1 โครงสร้างวงจรเครื่องให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก

#### 2.2 หลักการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก

##### 2.2.1 คุณสมบัติของไดอิเล็กตริก

จากความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกของวัสดุใด ๆ ในการทำงานเกี่ยวกับคลื่นความถี่ จะเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบตัวปล่อยคลื่นความถี่และระบบที่ใช้งานคลื่นความถี่ โดยการศึกษาการเกิดและการแพร่กระจายความร้อนในไดอิเล็กตริก ซึ่งคุณสมบัติของ

ไดอิเล็กตริกนั้นจะสามารถอธิบายได้จากพฤติกรรมภายใต้การใช้งานคลื่นที่ความถี่ต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นค่าสภาพยอมเชิงซ้อน (Complex permittivity,  $\epsilon^*$ ) หรือที่เรียกว่า “ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกยังผล (dielectric constant)” ซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.1 (Wang1, et.al., 2003)

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2.1)$$

เมื่อ  $\epsilon''$  คือ ปัจจัยในการสูญเสียยังผล (Dielectric loss factor) โดยสำหรับการพิจารณาค่าการสูญเสีย นั้น จะพิจารณาจากส่วนที่เป็นจินตภาพของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของความถี่และอุณหภูมิที่ใช้งาน และสามารถนิยามค่าการสูญเสียแทนเจนต์ (Loss tangent) ได้ดังสมการที่ 2.2

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon' \quad (2.2)$$

ซึ่งวัสดุไดอิเล็กตริกที่เป็นสินค้าเกษตรส่วนใหญ่จะแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ผ่านความถี่วิทยุและไมโครเวฟให้เป็นพลังงานความร้อนโดยความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการทำอันตรกิริยากันระหว่างพลังงานไมโครเวฟและตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นไดอิเล็กตริกที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วและสามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 และ 2.4 (Nelson, 1996)

$$P = \rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (2.3)$$

$$\rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} = 5.563 \times 10^{-11} f E^2 \epsilon'' \quad (2.4)$$

โดยที่	$P$	คือ พลังงานที่เกิดขึ้นในวัสดุไดอิเล็กตริก (W)
	$C_p$	คือ ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ( $J/kg \cdot ^\circ C$ )
	$\rho$	คือ ความหนาแน่นของวัสดุ ( $kg/m^3$ )
	$E$	คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า ( $V/m$ )
	$\Delta t$	คือ ระยะเวลา (s)

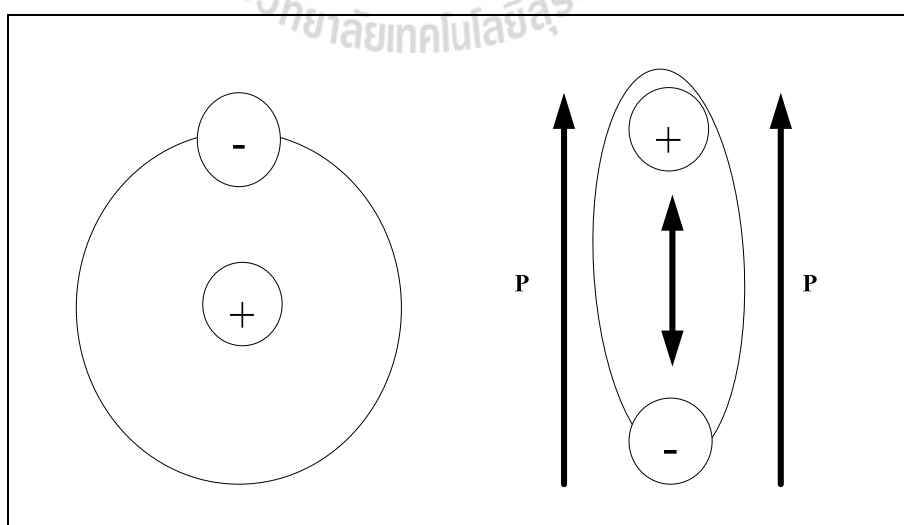
$\Delta T$  คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในวัสดุ ( $^{\circ}C$ )

$f$  คือ ความถี่ ( $Hz$ )

## 2.2.2 กลไกการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก

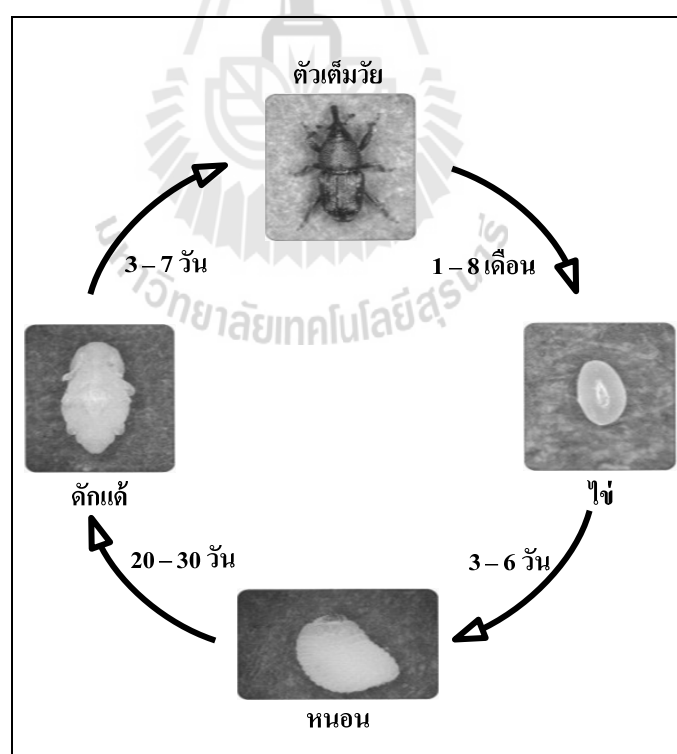
วัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric) สามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการป้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก การทำให้เกิดความร้อนเป็นผลมาจากความสามารถของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโพลาไรซ์ของประจุภายในไดอิเล็กตริก เมื่อทำการป้อนสนามไฟฟ้าสถิต สนามไฟฟ้าสถิตจะทำให้เกิดโพลาไรซ์ขึ้น แต่ในกรณีที่เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับจะทำให้เกิดโพลาไรซ์ดังแสดงตามรูปที่ 2.2 และจะทำให้ไดโพลเกิดการหมุนไปตามคาบเวลาของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อนให้ การหมุนของไดโพลที่ทำให้เกิดความร้อนโดยเกิดจากความเสียดทานภายในของโมเลกุล โดยโมเลกุลของไดอิเล็กตริกนั้นจะต้องมีค่าไดโพลโมเมนต์ (Dipole moment) สูงพอ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการทำให้เกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก ไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ

ในสถานะทั่วไปวัสดุที่เป็นไดอิเล็กตริก สามารถที่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเกิดจากประจุบวกและประจุลบ ที่แยกห่างออกจากกันเนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปภายในไดอิเล็กตริกซึ่งจะฝืนกับแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมหรือโมเลกุล กลไกของการเกิดการแยกห่างกันของประจุจะขึ้นอยู่กับชนิดของไดอิเล็กตริกและความถี่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อนให้กับไดอิเล็กตริก จะอธิบายการเกิดโพลาไรซ์ได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 อะตอมระหว่างประจุบวกต่อประจุลบของตัวกลาง

โดยในงานวิจัยนี้วัสดุที่เป็นไคโอเล็คทริกสำหรับทดลองคือ มอดข้าว จึงทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของมอดข้าว เพื่อนำมาวิเคราะห์สำหรับการออกแบบเครื่องและเก็บผลการทดลองต่อไป มอดข้าวตัวเต็มวัยมีสีน้ำตาลดำ ยาวประมาณ 2.0 - 3.0 มิลลิเมตร โดยตัวเมียจะวางไข่ที่เมล็ดพืชขณะที่เมล็ดเริ่มจะสุกแก่ เมล็ดละ 4 - 6 ฟอง แล้วขับเมือกปิดปากธูไว้ ตัวเมียวางไข่ได้ 300 - 400 ฟอง ไข่จะฟักในระยะ 3 - 6 วัน เป็นตัวอ่อนสีขาวลำตัวสั้นป้อม และอาศัยกักกินอยู่ภายในเมล็ดระยะ ตัวอ่อน 20 - 30 วัน แล้วจึงเข้าดักแด้เป็นเวลา 3 - 7 วัน เมื่อเป็นตัวเต็มวัยแล้ว จะเจาะผิวเมล็ดออกมา ทำให้เมล็ดที่ถูกมอดข้าวอาศัยอยู่เป็นรู วงจรชีวิตใช้เวลา 30 - 40 วัน ตัวเต็มวัยมีชีวิตอยู่ได้นาน 1 - 2 เดือน หรือมากกว่านี้ (Koehler., 2012) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งเป็นปัญหาต่อเกษตรกรเป็นอย่างมาก โดยมีค่าความร้อนจำเพาะ ( $c$ ) มีค่าเท่ากับ  $3.450 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$  และ ความหนาแน่นของวัสดุ ( $\rho$ ) มีค่าเท่ากับ  $1000 \text{ kg/m}^3$  (Wang, et al., 2003) ผู้วิจัยจึงใช้หลักการการส่งผ่านสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปยังตัวมอดข้าว โมเลกุลในตัวมอดข้าวจะเกิดการสั่นและเสียดสีกันจนเกิดความร้อนในตัวมอดข้าว โดยอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในตัวมอดข้าวอยู่ที่ประมาณ 50 องศาเซลเซียสขึ้นไปที่สามารถส่งผลกระทบต่อตัวมอดข้าวและทำให้มอดข้าวตาย (Marijana, et.al., 2011)

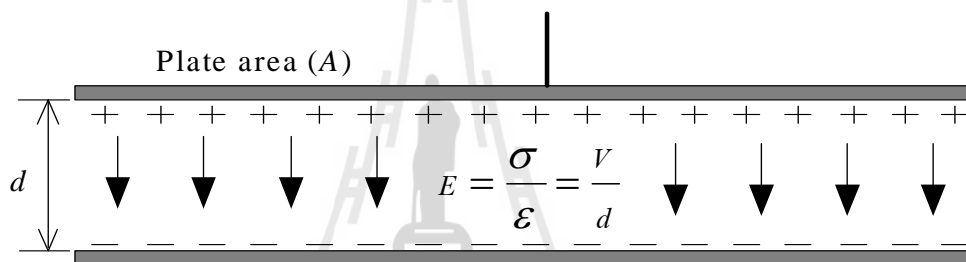


รูปที่ 2.3 วงจรชีวิตมอดข้าว

## 2.3 หลักการพื้นฐานของการกระจายความร้อนด้วยคลื่นสนามไฟฟ้า

### 2.3.1 หลักการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า

การพิจารณาตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อนแก่ไดโอดีทริกถือเป็นส่วนที่สำคัญมาก เนื่องจากเป็นส่วนที่กระจายพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าสู่วัสดุไดโอดีทริก ให้ความเหมาะสม ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาถึงขนาดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เป็นลักษณะรูปแบบการให้ความร้อนมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากการกระจายสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตมากที่สุด โดยผ่านวัสดุตัวกลางที่มีการสูญเสียหรือวัสดุไดโอดีทริก โดยลักษณะของตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รูปแบบตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต

จากรูปที่ 2.4 เป็นลักษณะตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต โดยสามารถออกแบบได้จากสมการที่ 2.5 ดังนี้

$$C = \frac{k\epsilon_0 A}{d} \quad (2.5)$$

โดยที่  $k$  คือ ค่าคงที่ไดโอดีทริก

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลต ( $m^2$ )

$\epsilon_0$  คือ  $8.854 \times 10^{-12}$  F/m

$d$  คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต (m)

ลักษณะของการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าจะมีการกระจายตัวจากแรงดันที่ขั้วบวกไปยังขั้วลบของแผ่นเพลต โดยความเข้มสนามไฟฟ้า  $E$  ที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเพลตสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.6

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{V}{d} \quad (2.6)$$

โดยที่  $\epsilon$  คือ ค่าความซึมซาบได้ของแผ่นเพลต

$V$  คือ แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างแผ่นเพลต

$d$  คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต

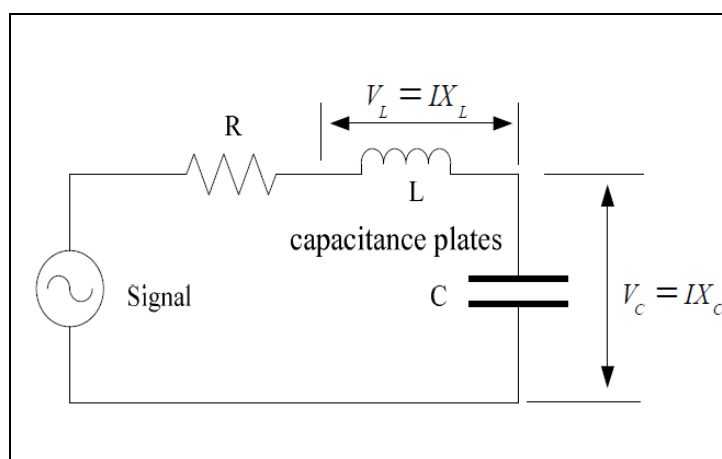
$\sigma$  คือ ค่าความนำของวัสดุไดอิเล็กตริก

โดยตัวแปรหลักที่ใช้ในการพิจารณาความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้น ประกอบด้วย แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างแผ่นเพลต ( $V$ ) และ ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต ( $d$ ) ดังนั้น การวิเคราะห์แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างแผ่นเพลตจึงเป็นส่วนสำคัญสำหรับการพิจารณา เพื่อทราบถึงความเข้มของสนามไฟฟ้า และนำไปสู่การวิเคราะห์การให้ความร้อนต่อวัสดุไดอิเล็กตริกต่อไป

### 2.3.2 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (Series resonance circuit)

เนื่องจากโพลในงานวิจัยนี้เป็นลักษณะแบบแผ่นเพลต จึงได้ทำการใช้หลักการของวงจรเรโซแนนซ์เพื่อทำการแมตซ์ซิ่ง เพื่อให้ได้กำลังงานที่ตกคร่อมระหว่างแผ่นเพลตมากที่สุด โดยลักษณะพฤติกรรมทางไฟฟ้าของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมจะมีอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งเรโซแนนซ์ต่ำที่สุด ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านวงจรจะมีค่ามากที่สุดทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าที่โพลมีค่าสูงสุด วิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าทำได้โดยการลดแรงดันที่จ่ายให้วงจร หรือเลื่อนความถี่การใช้งานให้ต่ำหรือสูงกว่าตำแหน่งเรโซแนนซ์ ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร RLC ที่ต่อแบบอนุกรมดังรูปที่ 2.5 และมีค่าดังสมการที่ 2.7 และดัง

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.7)$$



รูปที่ 2.5 วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

จากสมการ 2.7 จะพบว่า ค่าอิมพีแดนซ์จะขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เนื่องจากค่า  $X_L = 2\pi fL$  และ  $X_C = 1/2\pi fC$  โดยผลรวมของค่ารีแอกแตนซ์จะมีค่าเท่ากับ  $(X_L - X_C)$  ดังนั้นถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟมีค่าเท่ากับความถี่เรโซแนนซ์จะมีผลทำให้ค่ารีแอกแตนซ์รวมมีค่าเป็นศูนย์ ( $X_L = X_C$ ) และอิมพีแดนซ์รวมของวงจรจะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทาน ( $Z=R$ )

## 2.4 วงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ

เนื่องจากผู้วิจัยมีความสนใจและต้องการสร้างแหล่งจ่ายกำลังสูง จึงได้ทำการศึกษา วงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเพื่อทำการออกแบบแหล่งจ่ายกำลังงานสูงย่านคลื่นความถี่วิทยุ โดยวงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ต้องการ สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการออกแบบต้องพิจารณาถึงเสถียรภาพของวงจร อัตราขยายกำลัง กำลังเอาต์พุตซึ่งต้องเลือกคุณสมบัติและชนิดของมอสเฟตให้เหมาะสม รวมทั้งการออกแบบโครงข่ายแมตซ์ซึ่งทางด้านอินพุตและเอาต์พุต เพื่อให้ได้วงจรขยายสัญญาณความถี่สูงที่มีประสิทธิภาพและอัตราขยายกำลังสูงมากที่สุด (ชาญชัย ทองโสภณ, 2549)

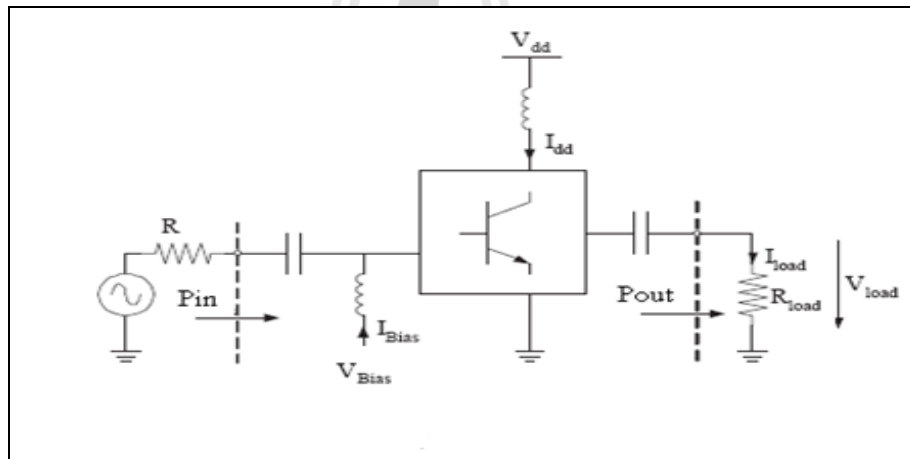
ลักษณะโดยทั่วไปของวงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ออกแบบเป็นลักษณะเป็นภาคส่วน โดยประกอบด้วยภาคอินพุตของวงจรขยายสัญญาณ ภาคขยายสัญญาณ และภาคเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณ และการออกแบบโครงข่ายแมตซ์ซึ่งทั้งภาคอินพุตและเอาต์พุตโดยลักษณะของวงจรโครงข่ายแมตซ์ซึ่งประกอบด้วย ค่าความต้านทาน (R) ตัวเก็บประจุ (C) และตัวเหนี่ยวนำ (L) โดยด้านอินพุตเป็นวงจรกำลังงานต่ำและด้านเอาต์พุตเป็นส่วนขยายกำลังสูง



### 2.4.1 คุณลักษณะวงจรถยายสัญญาณ

สิ่งสำคัญสำหรับคุณลักษณะวงจรถยายสัญญาณคือความเป็นเชิงเส้น ประสิทธิภาพของวงจรถยายสัญญาณ ความสามารถในการขยายสัญญาณเอาต์พุต และอัตราขยายสัญญาณ วงจรถยายสัญญาณจะมีลักษณะที่เป็นเชิงเส้นถ้าสัญญาณอินพุตและกำลังขยายสัญญาณเอาต์พุตมีลักษณะสัญญาณที่เป็นไปในทางเดียวกัน

โดยทั่วไปวงจรถยายสัญญาณจะมีลักษณะ 2 รูปแบบคือวงจรที่เป็นเชิงเส้น (linear amplifier) และไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear amplifier) สำหรับวงจรในรูปที่ 2.6 เป็นลักษณะรูปแบบทั่วไปของวงจรถยายสัญญาณ ซึ่งอัตราขยายสัญญาณ (gain) ที่ได้จากวงจรสามารถหาได้จากสมการที่ 2.8 คือส่วนที่เห็นได้ชัดเจนจากการขยายสัญญาณ โดย  $P_{in}$  เป็นกำลังสัญญาณตรงพอร์ตอินพุตของวงจรและ  $P_{out}$  เป็นกำลังขยายสัญญาณเอาต์พุตฝั่งโหลด ซึ่งจะมีค่าความต้านทานโหลด  $R_{load}$  โดยที่  $P_{out}$  สามารถคำนวณหาได้จากส่วนประกอบพื้นฐาน จากโหลดกระแส  $I_{load}$  และโหลดแรงดัน  $V_{load}$  ดังแสดงในสมการที่ 2.9



รูปที่ 2.6 ลักษณะวงจรถยายสัญญาณ

$$\text{Gain} = 10 \log \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \text{ dB} \quad (2.8)$$

$$P_{out} = I_{load} V_{load} \quad (2.9)$$

การกระจายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากสองสิ่งประกอบกันจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (power-supply) ซึ่งจะประกอบด้วย  $V_{dd}$  และ  $I_{dd}$  และส่วนอื่น ๆ ที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไบอัส ( $V_{Bias}$ ) และ ( $I_{Bias}$ ) ซึ่งกำลังเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสามารถหาได้จากสมการที่ 2.10

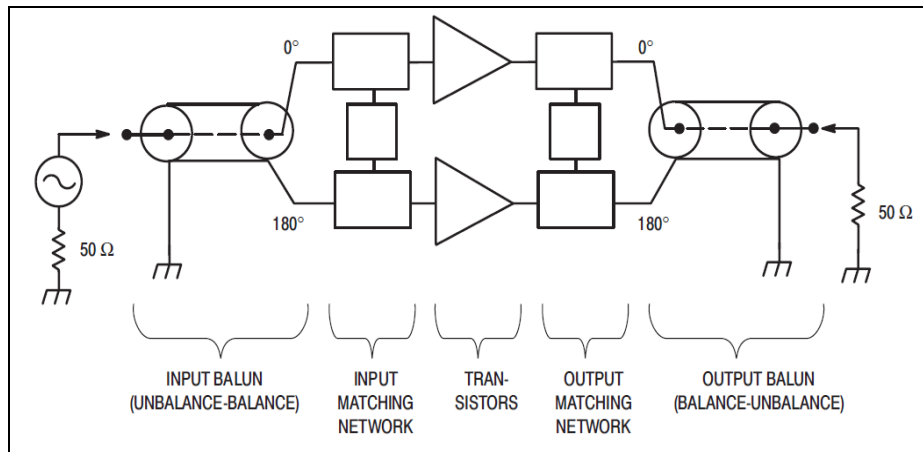
$$P_{dc} = (V_{Bias} \times I_{Bias}) + (V_{dd} \times I_{dd}) \quad (2.10)$$

การออกแบบวงจรขยายสัญญาณคือการออกแบบเพื่อต้องการได้ประสิทธิภาพ (efficiency) ดีที่สุด โดยได้จากการเปรียบเทียบระหว่างกำลังสัญญาณเอาต์พุตของวงจรและค่าของกำลังเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งสามารถหาค่าประสิทธิภาพของวงจรขยายสัญญาณเป็นค่าในรูปของเปอร์เซ็นต์ได้จากสมการที่ 2.11

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{out}}{P_{dc}} \times 100\% \quad (2.11)$$

#### 2.4.2 โครงสร้างของวงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุคลาสเอบีแบบพุช-พูล (Push - Pull)

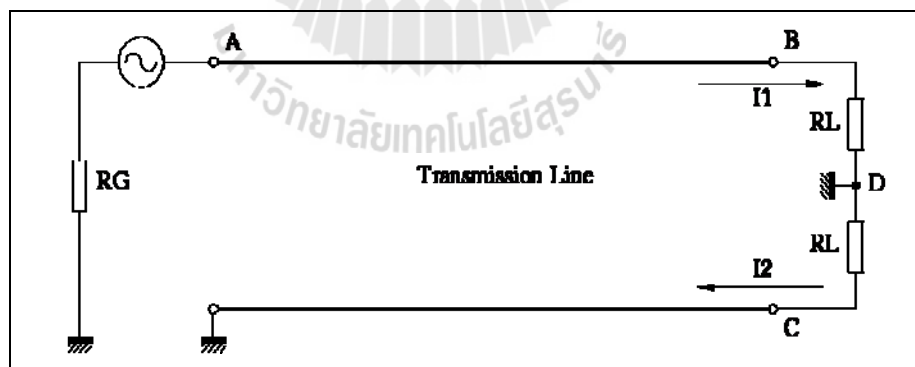
หลักการทำงานของวงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุคลาสเอบีแบบพุช-พูลนิยมใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดเดียวกันสองตัวแบ่งกันขยายสัญญาณตัวละครึ่งคาบทำให้ได้อัตราการขยายกำลังสูงขึ้น โดยใช้ บาลัน (BALAN : Balance / Unbalance) เป็นอุปกรณ์ในการแบ่งสัญญาณอินพุตเป็นสองส่วนที่มีเฟสของสัญญาณอินพุตต่างกัน 180 องศา พร้อมทั้งแปลงอิมพีแดนซ์จาก Unbalance 50 โอห์ม เป็น Balance 25 โอห์ม สองสัญญาณ หลังจากนั้นอินพุตแมตซ์ซึ่งเน็ตเวิร์คทำหน้าที่ แมตซ์สัญญาณ 25 โอห์ม กับ อินพุตอิมพีแดนซ์ของทรานซิสเตอร์ การแมตซ์สัญญาณระหว่างทรานซิสเตอร์ไปยังโหลดก็อาศัยหลักการนี้เช่นเดียวกัน โครงสร้างของวงจรขยายชนิดนี้สามารถแสดงโครงสร้างดังรูปที่ 2.7 (An1034.,1993)



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของวงจรขยายกำลังสัญญาณคลื่นวิทยุแบบพุช - พูล

### 2.4.3 บาลัน (BALUN)

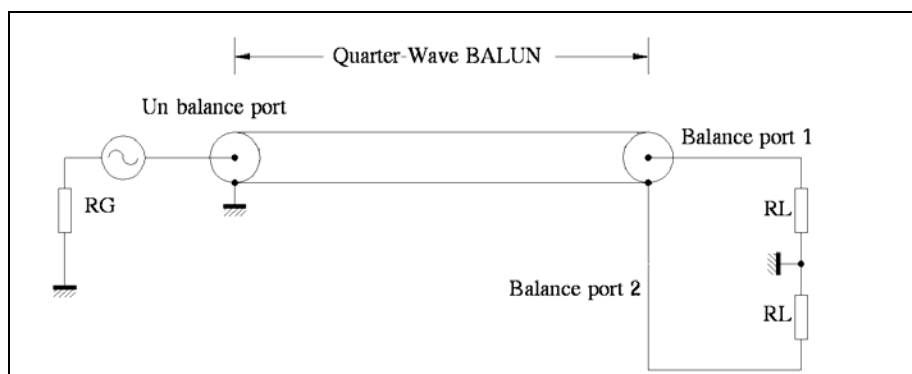
ในวงจรขยายสัญญาณคลื่นวิทยุแบบ พุช-พูล ต้องการสัญญาณ อินพุตสองส่วน และมีเฟสของกระแสต่างกัน 180 องศา โดยใช้บาลันเป็นตัวแยกสัญญาณและรวมสัญญาณ หลักการทำงานของ บาลัน สามารถอธิบายได้โดยพิจารณาการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าในสายส่ง เช่น สายโคแอกเซียล (Coaxial Cable) แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของบาลัน

จากรูปที่ 2.8 พิจารณาที่ปลายสายส่ง จุด B และ จุด C ที่เวลาค่าหนึ่ง กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่ โหลด RL จุด B และกระแสที่ไหลออกจากโหลด จุด C จะมีปริมาณเท่ากัน แต่ทิศทางการไหลของกระแสเมื่อเทียบกับกราวด์ ที่จุด D จะพบว่ามิติศทางตรงกันข้าม หรือกล่าวได้ว่าเฟส

ของกระแสมีความแตกต่างกัน 180 องศา ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้เป็นสิ่งที่เราต้องการเป็นประการแรกในการสร้างบาลัน ประการที่สองที่อาจจะคำนึงในการสร้างบาลันคือ ความยาวของสายส่งหรือความยาวของบาลัน ที่จะมีผลต่อเฟสของกระแส พิจารณารูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดง โครงสร้างของบาลัน

#### 2.4.4 การเคลื่อนที่ของคลื่นสัญญาณผ่านสายโคแอกเซียล

เมื่อคลื่นวิทยุเคลื่อนที่ผ่านสายโคแอกเซียลความเร็วของคลื่นจะลดลง โดยค่า  $\epsilon_r$  คือค่าคุณสมบัติของตัวกลางไดอิเล็กตริกมีผลต่อการเดินทางของคลื่นสัญญาณในสายโคแอกเซียล ดังแสดงในสมการที่ 2.12 (Stephen F, 1969)

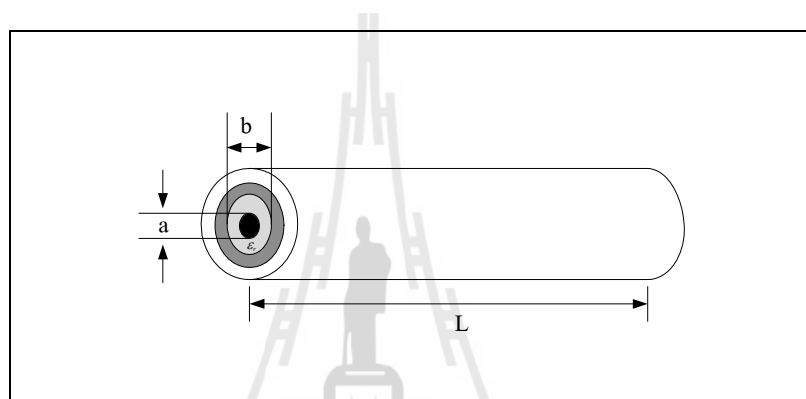
$$V_p = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.12)$$

คุณสมบัติที่สำคัญของสายโคแอกเซียล คือ มีการค่าอิมพีแดนซ์เฉพาะ (Characteristic line impedance) แสดงดังสมการที่ 2.13 ค่าอิมพีแดนซ์เฉพาะจะมีค่าคงที่ตลอดทุกความยาวสาย และสายโคแอกเซียลยังทำหน้าที่คล้ายตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุเมื่อมีคลื่นสัญญาณเคลื่อนที่ผ่าน ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุไฟฟ้านี้ได้จากสมการที่ 2.14 และ 2.15 จากคุณสมบัติข้างต้นเราสามารถนำเอาสายโคแอกเซียลไปใช้ในการออกแบบวงจรขยายได้

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r}{\epsilon_0 \epsilon_r}} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2.13)$$

- โดยที่ a คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านใน (inner conductor)  
 b คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านนอก (outer conductor)

ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงขนาดของสายโคแอกเซียล

จะได้

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2.14)$$

$$C = \frac{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (2.15)$$

- โดยที่  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  (H/m)  
 $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$  (F/m)

โดยปรกติค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของสายโคแอกเซียลจะมีค่าประมาณ 1 ดังนั้นจึงสามารถจัดรูป ให้คำนวณง่ายขึ้น โดยจะได้ดังสมการที่ 2.16 และ 2.17

$$L = 4.60517 \times 10^{-7} \times \log\left(\frac{b}{a}\right) \text{ (H/m)}$$

$$L = 460.517 \times \log\left(\frac{b}{a}\right) \text{ (nH/m)} \quad (2.16)$$

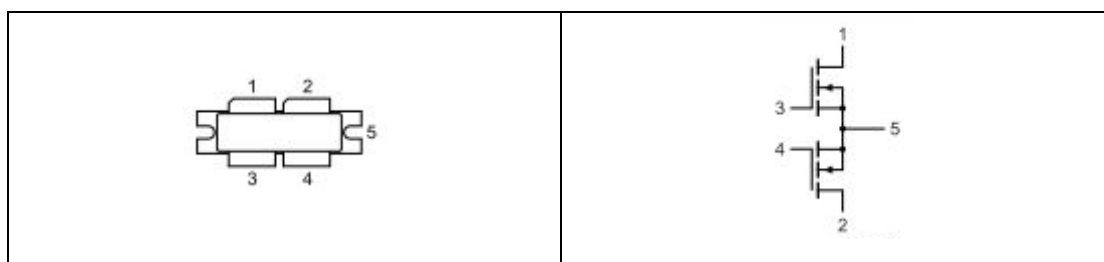
$$C = \frac{24.16 \times 10^{-12} \times \epsilon_r}{\log\left(\frac{b}{a}\right)} \text{ F/m}$$

$$C = \frac{24.16 \times \epsilon_r}{\log\left(\frac{b}{a}\right)} \text{ pF/m} \quad (2.17)$$

จากสมการ 2.16 จะได้ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าต่อความยาวสาย 1 เมตร และจากสมการที่ 2.17 จะได้ค่าความจุไฟฟ้าของความยาวสาย 1 เมตร เพราะฉะนั้นสามารถนำค่าที่ได้ไปหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าตามความยาวสายของบาลันที่ต้องการและในการแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์โดยใช้ความยาวของสายส่ง

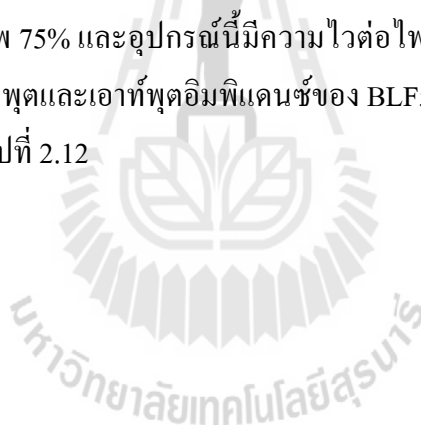
#### 2.4.5 มอสเฟตทรานซิสเตอร์ (MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)

การออกแบบวงจรขยายแบบพูซ-พูล ครั้งนี้ให้มอสเฟตเบอร์ BLF578 (AN10800, Application note, Rev. 01, 2009) ซึ่งมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.11



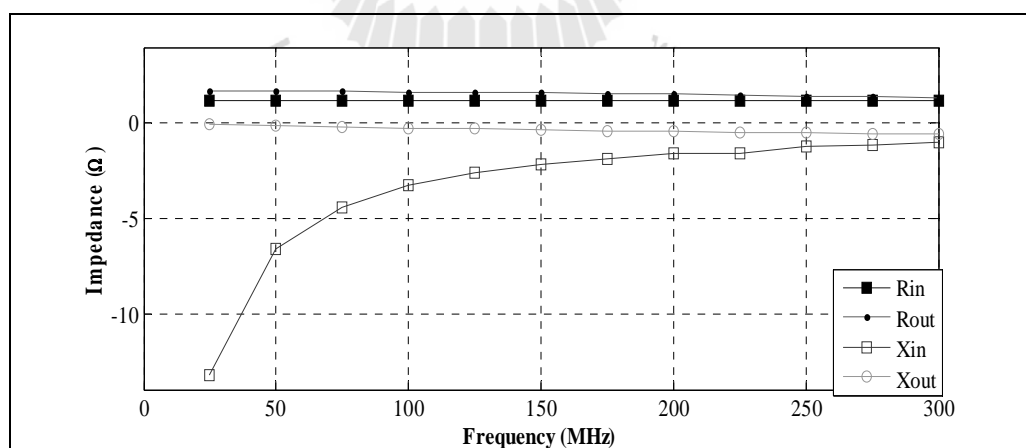
รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบมอสเฟต BLF578

คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์เบอร์ BLF578 นั้นคือ มีความแข็งแรง ทนความร้อนที่สูงและมีประสิทธิภาพสูง เพราะเป็นทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานแบบชนิดพหุขั้ว สามารถทำงานที่ย่านความถี่ 10 – 500 MHz ที่แหล่งจ่ายไฟ 50 Vdc จากการทดสอบทรานซิสเตอร์ที่ความถี่ 225 MHz สามารถให้กำลังงานแก่โหลดสูงสุด 1200W มีอัตราขยายประมาณ 24 dB และมีประสิทธิภาพ 71% และที่ความถี่ 108 MHz สามารถให้กำลังงานแก่โหลดได้สูงสุด 1000 W มีอัตราขยายประมาณ 26 dB และมีประสิทธิภาพ 75% และอุปกรณ์นี้มีความไวต่อไฟฟ้าสถิต อีกทั้งยังสามารถทนความร้อนได้ถึง 150° และค่าอินพุตและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของ BLF578 แสดงดังตารางที่ 2.1 และแสดงในรูปของกราฟจะได้ดังรูปที่ 2.12



ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของ BLF578

ความถี่(MHz)	อินพุต		เอาต์พุต	
	$Z_i$		$Z_o$	
25	1.176	-j13.262	1.697	-j0.060
50	1.176	-j6.617	1.688	-j0.120
75	1.176	-j4.395	1.674	-j0.178
100	1.176	-j3.280	1.654	-j0.234
125	1.176	-j2.607	1.630	-j0.288
150	1.176	-j2.155	1.600	-j0.338
175	1.177	-j1.830	1.567	-j0.385
200	1.177	-j1.583	1.531	-j0.427
225	1.177	-j1.583	1.491	-j0.466
250	1.178	-j1.233	1.449	-j0.500
275	1.178	-j1.103	1.406	-j0.531
300	1.178	-j0.993	1.361	-j0.556



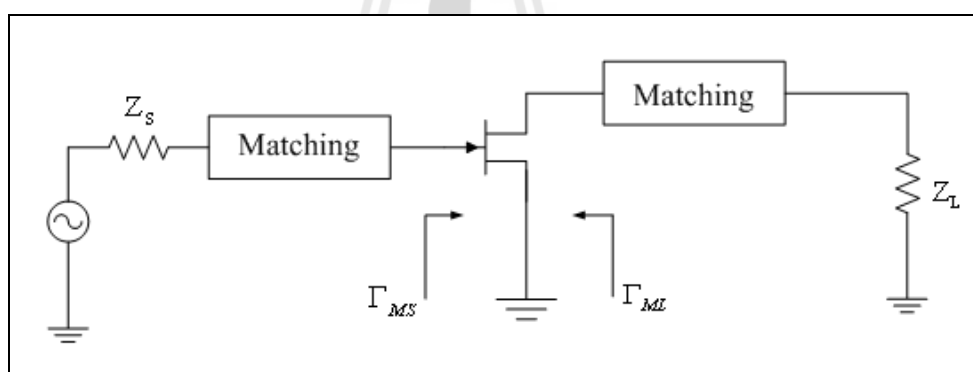
รูปที่ 2.12 กราฟแสดงอินพุตและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของมอสเฟต



### 2.4.6 การแมตซ์อิมพีแดนซ์ของวงจรถยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ

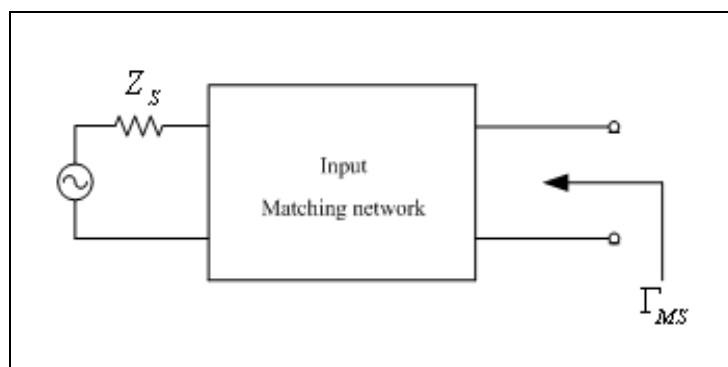
โดยทั่วไปวงจรถายสัญญาณความถี่มักจะอยู่ส่วนหน้าของวงจรถยายสัญญาณของระบบโดยปกติแล้วจะถูกออกแบบมาสำหรับระบบอิมพีแดนซ์แบบ 50 โอห์ม คุณสมบัติของวงจรถายสัญญาณที่อาจเปลี่ยนแปลงได้เมื่อค่าอินพุตหรือเอาต์พุตอิมพีแดนซ์มีค่าต่างออกไป ดังนั้นการแมตซ์อิมพีแดนซ์จึงเป็นสิ่งสำคัญที่วงจรถายต่าง ๆ จะต้องมีการเทอร์มินเนตค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมตลอดช่วงความถี่ เช่นอิมพีแดนซ์วงจรถายสัญญาณความถี่สูงทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุตจะแมตซ์เข้ากับอิมพีแดนซ์ของระบบเพื่อให้มีการส่งผ่านกำลังงานสูงสุด

วงจรถายสัญญาณจะมีกำลังงาน อัตราขยาย และประสิทธิภาพที่สูงได้ ต้องประกอบไปด้วยปัจจัยหลายอย่างทั้งโครงสร้างของวงจรและการออกแบบวงจรที่มีเสถียรภาพ สิ่งสำคัญของการออกแบบวงจรถายสัญญาณคือการแมตซ์อิมพีแดนซ์ทั้งด้านอินพุตและเอาต์พุตของวงจรถายสัญญาณ ทั้งนี้เพื่อส่งผ่านกำลังงานในวงจรให้ได้มากที่สุดโดยลักษณะรูปแบบของโครงข่ายแมตซ์อิมพีแดนซ์แสดงดังรูปที่ 2.13

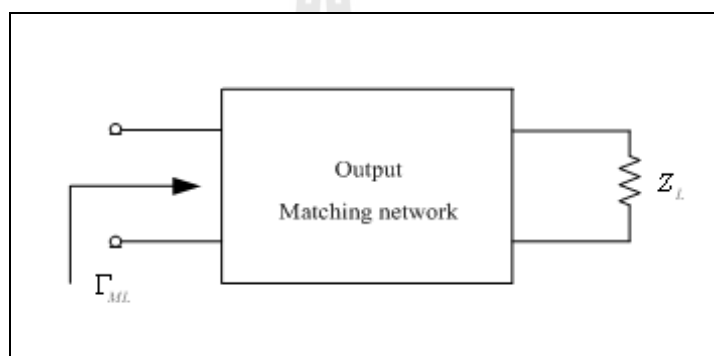


รูปที่ 2.13 โครงข่ายแมตซ์อิมพีแดนซ์

การแมตซ์อิมพีแดนซ์ซึ่งจะประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ทางด้านเข้าเป็นคู่การแมตซ์กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากแหล่งจ่ายทางด้านอินพุตของมอสเฟตแสดงดังรูปที่ 2.14 และอิมพีแดนซ์ทางด้านออกซึ่งเป็นคู่ของการแมตซ์กับสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากแหล่งจ่ายทางด้านเอาต์พุตของมอสเฟตแสดงดังรูปที่ 2.15 โดยการออกแบบวงจรถายแมตซ์อิมพีแดนซ์สามารถแมตซ์อิมพีแดนซ์ได้จากแผนภูมิสมิท (smith chart) โดยลักษณะรูปแบบของแผนภูมิสมิทได้จากการแปลงค่าโดยแผนภูมิก่า  $Z = r + jx$  ลงในระนาบของ  $\Gamma \angle \Phi = u + jv$

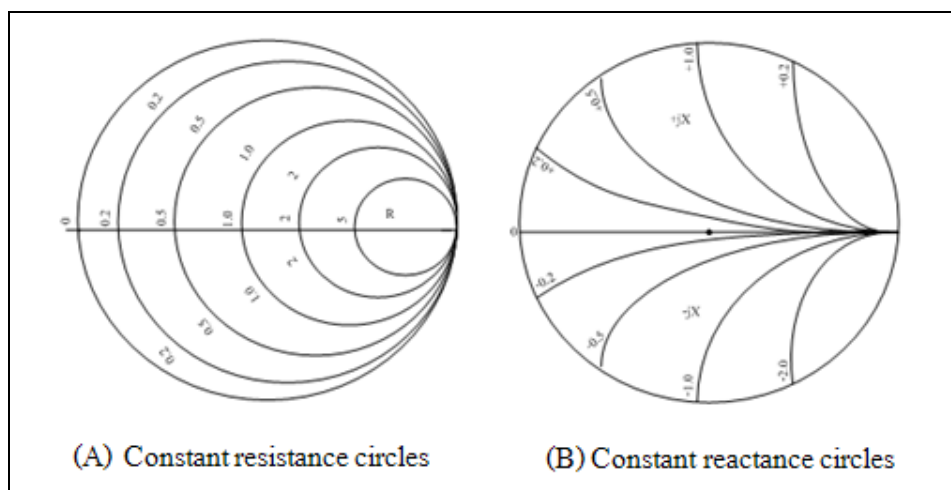


รูปที่ 2.14 โคร่งข่ายแมตช์ซึ่งอินพุตอิมพีแดนซ์



รูปที่ 2.15 โคร่งข่ายแมตช์ซึ่งเอาต์พุตอิมพีแดนซ์

ซึ่งจะทำให้ได้ชุดวงกลม ค่าตัวต้านทานคงที่กับวงกลมค่ารีแอ็คแตนซ์คงที่ ดังรูปที่ 2.8 บนระนาบ  $u - v$  เมื่อนำวงกลมทั้งสองชุดมารวมกันจะเป็นดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของแผนภูมิสมิท

เนื่องจากระนาบ  $u$  และ  $v$  ของ  $\Gamma$  ไม่ค่อยได้ใช้ ดังนั้นรูปแบบภาพจึงมีสเกลเป็นโพลาร์ โดยมุมของ  $\Gamma$  อยู่บนสเกลตามเส้นรอบวงของรูปแบบภาพ ทั้งที่เป็นองศาและเศษส่วนของความยาวคลื่นและขนาดของ  $\Gamma$  หาได้จากสเกลได้รูปแบบภาพ ทำให้แผนภูมิสมิทมีประโยชน์มากในการแก้ปัญหาหาของสายส่งและการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของวงจรต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี และง่ายต่อการออกแบบและการใช้งาน

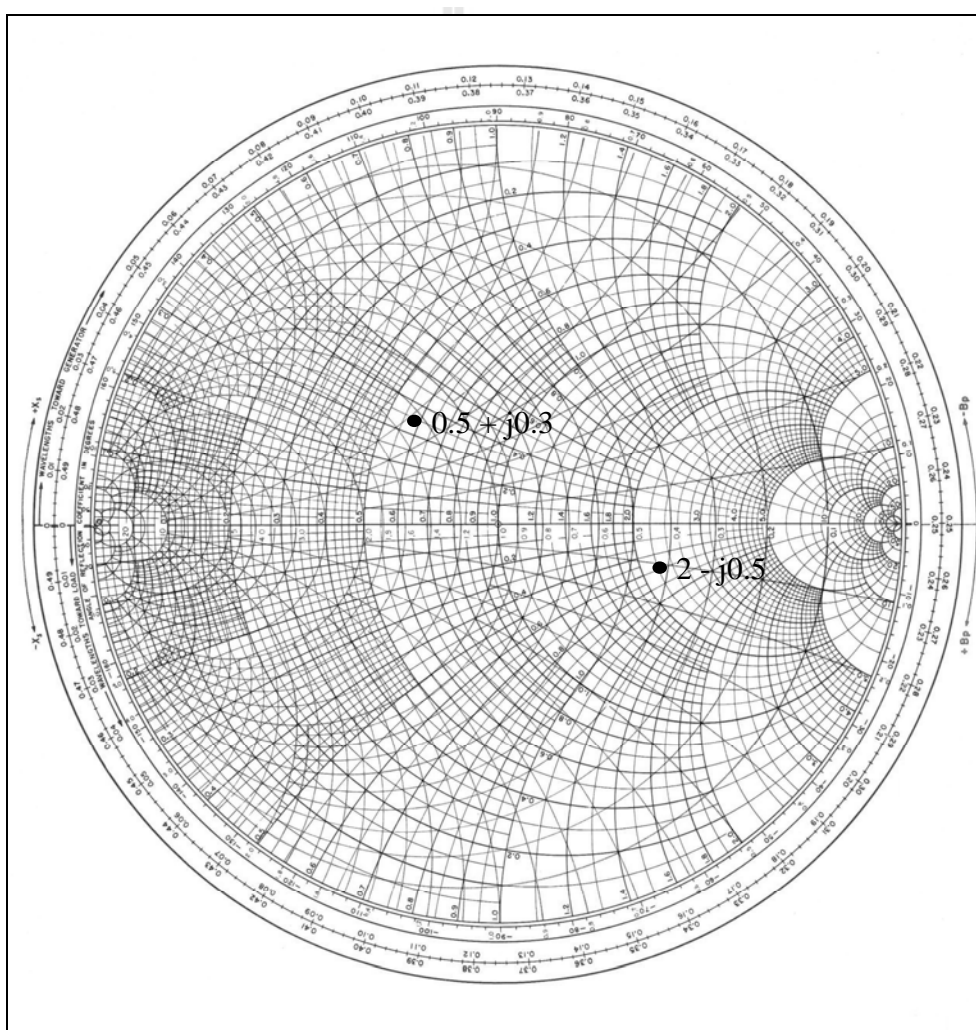
การกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิท ในแต่ละจุดบนแผนภูมิสมิทจะแสดงค่าของอิมพีแดนซ์ ซึ่งมีลักษณะเป็นอนุกรมกันในรูปของ  $Z = R + jX$  นั่นคือสามารถกำหนดจุดค่า  $Z$  ลงบนจุดที่ป็นจุดตัดระหว่างวงกลม  $R$  กับวงกลม  $X$  ได้เลยดังสมการกำหนดจุดต่าง ๆ

โดยการแมตซ์อิมพีแดนซ์บนแผนภูมิสมิทเมื่อได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จะแมตซ์บนแผนภูมิสมิทแล้วสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ โดยการใช้แผนภูมิสมิทดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการแมตซ์ได้เป็นอย่างดีเมื่อทราบค่าของ โหลดอิมพีแดนซ์และอิมพีแดนซ์ที่ต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถแมตซ์อิมพีแดนซ์ของวงจรโดยใช้โครงข่ายแบบ 2 องค์ประกอบบนแผนภูมิสมิท ซึ่งการแมตซ์อิมพีแดนซ์บนแผนภูมิสมิทมีขั้นตอนดังนี้  
ขั้นตอนการแมตซ์อิมพีแดนซ์บนแผนภูมิสมิท

1. สำหรับการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ได้คู่แมตซ์แล้วและถ้าค่าที่ได้อยู่ในรูปจำนวนเชิงซ้อน อิมพีแดนซ์ที่ต้องการเมื่อมองจากแหล่งจ่ายนั้นคือ การคอนจูเกตจำนวนเชิงซ้อนของด้านแหล่งจ่ายอย่างเช่น เมื่ออิมพีแดนซ์ด้านแหล่งจ่ายเท่ากับ  $25 - j15$  โอห์ม และอิมพีแดนซ์ฝั่งโหลดเท่ากับ  $100 - j25$  โอห์ม เมื่อมองจากแหล่งจ่ายทำให้ได้คู่แมตซ์เป็น  $25 + j15$  กับ  $100 - j25$

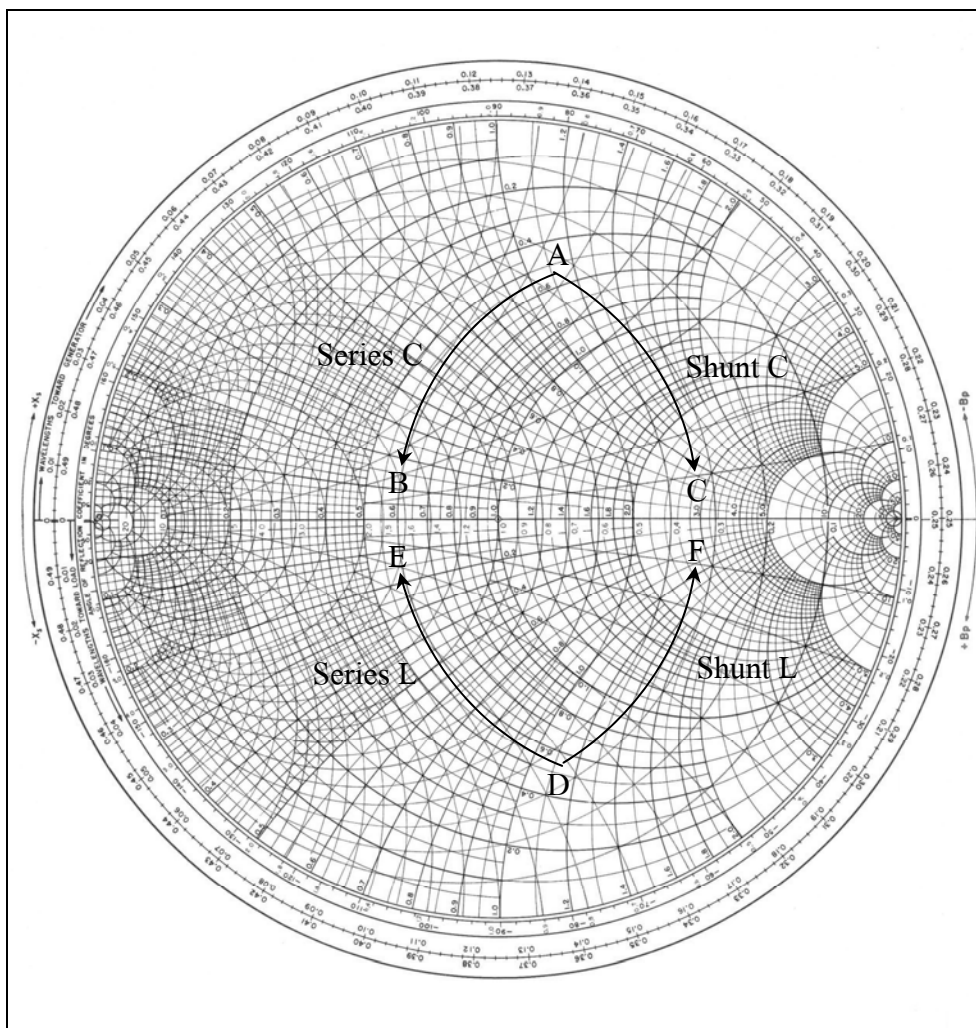
2. ถ้าค่าที่ต้องการแมตซ์มีค่าใหญ่เกินไปจะต้องทำการนอร์แมลไลซ์ด้วยค่าใดค่าหนึ่งเพื่อให้ค่าเล็กลงทำให้ง่ายต่อการแมตซ์อิมพีแดนซ์และการกำหนดจุดลงบนแผนภูมิสมิท เช่น จากค่าในข้อที่ 1 สามารถนอร์แมลไลซ์ด้วย 50 ทำให้ได้ อิมพีแดนซ์ด้านแหล่งจ่ายเท่ากับ  $0.5 + j0.3$  โอห์ม และอิมพีแดนซ์ด้านโหลดเท่ากับ  $2 - j0.5$  เป็นคู่การแมตซ์อิมพีแดนซ์

3. หลังจากได้คู่การแมตซ์อิมพีแดนซ์แล้วสามารถกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิทเพื่อทำการแมตซ์อิมพีแดนซ์แสดงดังรูปที่ 2.17 แสดงการกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิทซึ่งนำค่าจากข้อที่ 2 ในการกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิท



รูปที่ 2.17 การกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิท

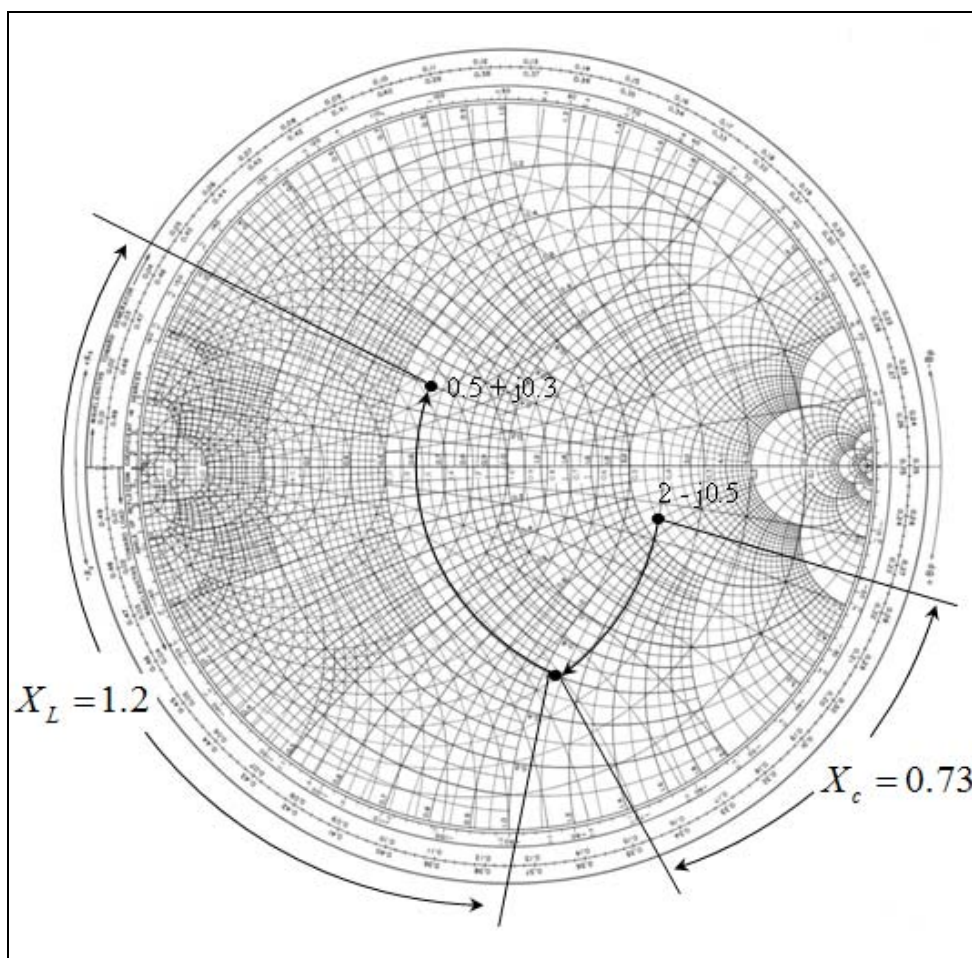
4. หลังจากการกำหนดจุดบนแผนภูมิแล้วสามารถหาค่าองค์ประกอบต่าง ๆ จากจุดที่ต้องการเมตซ์อิมพีแดนซ์เพื่อจำกัดค่าของพารามิเตอร์โดยลักษณะของพารามิเตอร์ที่ได้จากการวนจะแสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ทิศทางการเคลื่อนที่ของการเมตซ์อุปกรณ์บนแผนภูมิมิตซ์

โดยการวนจากเส้นโค้ง AB เป็นการจำกัดค่า C อนุกรม เส้นโค้ง AC เป็นการจำกัดค่า C ขนาน เส้นโค้ง DE เป็นการจำกัดค่า L อนุกรม และเส้นโค้ง DF เป็นการจำกัดค่า L ขนาน

5. เมื่อวนหาค่าองค์ประกอบที่ได้แล้วสามารถอ่านค่าที่ขององค์ประกอบจากรวนดังแสดงในรูปที่ 2.19 และสามารถนำค่ามาคำนวณดังสมการที่ 2.18 และ 2.19 และแทนค่าที่ได้ลงในสมการที่ 2.20 และ 2.21 เพื่อที่จะทำให้ได้ค่าองค์ประกอบที่ทำการแมตซ์อิมพีแดนซ์ในรูปของค่าตัวเก็บประจุ (C) และตัวเหนี่ยวนำ (L)



รูปที่ 2.19 การอ่านค่าความยาวของส่วน โคงบนแผนภูมิสมิท

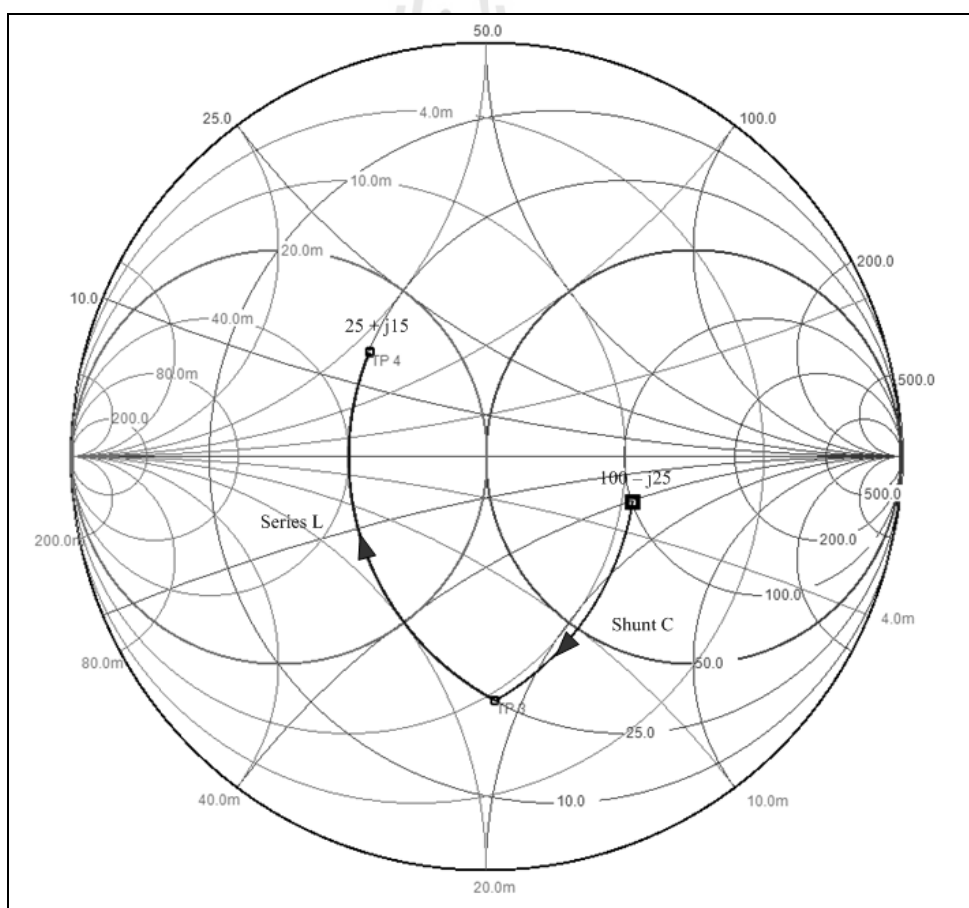
$$X_C = \left[ \frac{1}{+jC} \right] \text{ (Normalize)} \quad (2.18)$$

$$X_L = [+jL] \text{ (Normalize)} \quad (2.19)$$

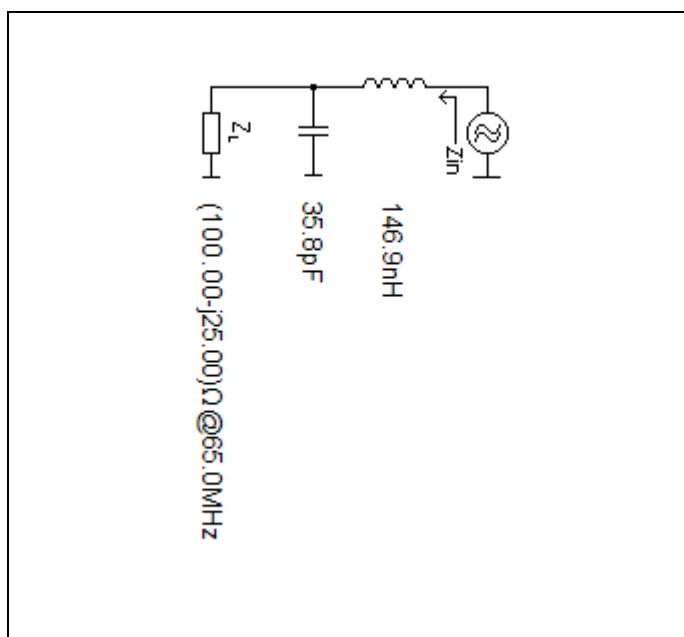
$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (2.20)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad (2.21)$$

โดยการแมตซ์อิมพีแดนซ์บนแผนภูมิสมิทในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำโปรแกรม Smith V3.10 เข้ามาร่วมในการแมตซ์อิมพีแดนซ์ ซึ่งช่วยให้สะดวก ง่ายขึ้นในการแมตซ์ซึ่ง และผลที่ได้จากการ วนแผนภูมิสมิทและคำนวณจากสมการกับการใช้โปรแกรมค่าได้มีความใกล้เคียงกัน มากดังแสดงในรูปที่ 2.20 แสดงการแมตซ์อิมพีแดนซ์บนแผนภูมิสมิท โดยใช้โปรแกรม เมื่อเปรียบเทียบกับ การวนแผนภูมิสมิทและคำนวณจากสมการ



รูปที่ 2.20 แสดงการแมตซ์อิมพีแดนซ์บนแผนภูมิสมิท โดยใช้โปรแกรม Smith V3.10



รูปที่ 2.21 แสดงวงจรโครงข่ายแมตซ์อิมพีแดนซ์

จากรูปที่ 2.20 แสดงการแมตซ์อิมพีแดนซ์บนแผนภูมิสมิทโดยใช้โปรแกรม Smith V3.10 ซึ่งนอร์มัลไลซ์ด้วย 50 เช่นเดียวกับรูปที่ 2.19 และเมื่อนำมาคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุที่ความถี่ที่ต้องการ เช่นที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ซึ่งค่าตัวเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุมีค่าดังนี้ จากการคำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับ 146.91 nH ค่าตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ 35.74 pF และจากการใช้โปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 2.21 ค่าตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับ 146.9 nH ค่าตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ 35.8 pF จะเห็นว่าค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันมาก การแมตซ์อิมพีแดนซ์ในส่วนนี้จะใช้การแมตซ์ซึ่งเป็นแบบโครงข่าย L แบบวงจรรองความถี่ต่ำผ่าน

## 2.5 สรุป

การออกแบบเครื่องให้ความร้อนแก๊สไดอิเล็กตริก ซึ่งในบทนี้ได้กล่าวถึงการศึกษาดังทฤษฎีพื้นฐานของการให้ความร้อนแก๊สไดอิเล็กตริก หลักการพื้นฐานของการกระจายความร้อนด้วยคลื่นสนามไฟฟ้า และสิ่งสำคัญสำหรับการให้ความร้อนแก๊สไดอิเล็กตริกคือการออกแบบแผ่นเพลตเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมต่อการใช้งาน การออกแบบวงจรความถี่วิทยุสำหรับเครื่องให้ความร้อนแก๊สไดอิเล็กตริกเพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังงาน โดยออกแบบเป็นคลาสเอบีพหุขมูล สิ่งสำคัญคือต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานของวงจร ระบบ และโครงสร้างของอุปกรณ์ที่นำมาออกแบบและสร้างทฤษฎีของที่เกี่ยวข้องกับวงจรทั้งหมด โดยประกอบไปด้วยทฤษฎีของวงจรภาคกำลังซึ่งได้กล่าวถึง



วงจรรขยายสัญญาณกำลังสูง ในการออกแบบวงจรรขยายสัญญาณกำลังสูงให้มีประสิทธิภาพและ  
อัตราขยายสัญญาณที่สูงต้องคำนึงถึงการออกแบบในส่วนของภาควงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์  
ทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุต เพื่อให้ได้องค์ประกอบตัวอุปกรณ์ที่เหมาะสมของวงจร

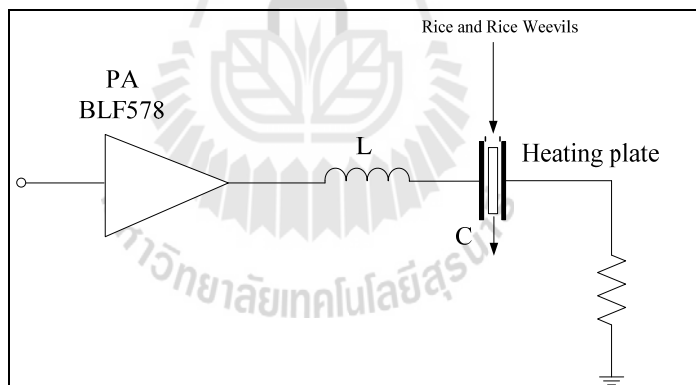


### บทที่ 3

## การออกแบบวงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและแผ่นเพลตสำหรับ เครื่องให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก

### 3.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้แสดงการออกแบบเครื่องให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก ซึ่งประกอบด้วย การออกแบบวงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุเพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลังงานสูงย่านคลื่นความถี่วิทยุ และการออกแบบแมตซ์ชิง โหลดที่เป็นแผ่นเพลต ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งแต่ละส่วนใช้ทฤษฎีและการคำนวณจากสมการที่แสดงในบทที่ 2 เพื่อการออกแบบให้เหมาะสมที่สุด ซึ่งรายละเอียดของการออกแบบได้อธิบายในบทนี้ โดยวัสดุไดอิเล็กตริกในงานวิจัยนี้ใช้หมอดข้าวในการพิจารณาเพื่อทำการกำหนดความถี่ที่เหมาะสมและทำการออกแบบวงจรขยายสัญญาณต่อไป



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกที่ออกแบบ

### 3.2 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุ

เนื่องจากการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังงานสูงสำหรับส่งผ่านไปยังโหลด ดังนั้นจึงทำการออกแบบวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุเพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลัง โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งได้ทำการพิจารณาจากรูปที่ 1.5 ซึ่งค่าความถี่ที่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ยังมีความเหมาะสมและอยู่ในช่วงที่ให้ความร้อนแก่หมอดข้าวได้ดี เมื่อสังเกตถึงจุดตัดของปัจจัยการสูญเสียระหว่างหมอดข้าวกับข้าวพบว่าปัจจัยการสูญเสียของข้าว

ที่จุดตัด 65 เมกะเฮิร์ตซ์มีค่าน้อยซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิที่เกิดในขั้วน้อยตามไปด้วย โดยงานวิจัยนี้ใช้มอสเฟต เบอร์ BLF578 ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์รับสัญญาณอินพุตประมาณ 0.19 - 9 วัตต์ จากวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่และกำหนดไปอัสแรงดันที่ขาเดรนเท่ากับ 48 โวลต์และแรงดันที่ขาเกตเท่ากับ 1.2 - 1.5 โวลต์ ออกแบบเป็นคลาสเอบีและออกแบบวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ เพื่อให้กำลังงานและให้วงจรมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด กำหนดอิมพีแดนซ์ด้านอินพุตและด้านเอาต์พุตเท่ากับ 50 โอห์ม โดยการออกแบบได้จากการคำนวณจากทฤษฎีในบทที่ 2 ดังต่อไปนี้

การคำนวณหาค่าอินพุตและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของมอสเฟต อิมพีแดนซ์ของมอสเฟต ประกอบด้วยอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เมื่ออินพุตอิมพีแดนซ์วัดจากขาเกตและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์วัดจากขาเดรน เนื่องจากต้องการออกแบบวงจรขยายที่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ จึงต้องหาอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งในการคำนวณหา จำเป็นต้องรู้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของมอสเฟตในช่วงค่าที่มากกว่าและน้อยกว่าค่าที่ต้องการทั้ง 2 ค่าก่อน ซึ่งสามารถหาได้จากรูปตารางที่ 2.1 และ รูปที่ 2.12 มาคำนวณหาอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ได้ดังสมการ 3.1

$$\frac{f_{\max} - f_{\min}}{[\text{Re}], [\text{Im}]_{\max} - [\text{Re}], [\text{Im}]_{\min}} = \frac{f_{\max} - f_x}{[\text{Re}], [\text{Im}]_{\max} - x} \quad (3.1)$$

เมื่อ $f_{\max}$	คือ ค่าความถี่ที่อยู่ในช่วงที่สูงกว่าค่า $f_x$
$f_{\min}$	คือ ค่าความถี่ที่อยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าค่า $f_x$
$[\text{Re}], [\text{Im}]_{\max}$	คือ ค่าจำนวนจริงหรือค่าจำนวนจินตภาพของ $f_{\max}$
$[\text{Re}], [\text{Im}]_{\min}$	คือ ค่าจำนวนจริงหรือค่าจำนวนจินตภาพของ $f_{\min}$
$f_x$	คือ ค่าความถี่ที่เราต้องการ
$x$	คือ ค่าจำนวนจริงหรือค่าจำนวนจินตภาพของ $f_x$

การคำนวณหาอินพุตอิมพีแดนซ์ของมอสเฟตที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ ( $Z_i$ ) จากรูปตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 75 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้ค่า  $Z_i = 1.176 - j4.395$  และที่ความถี่ 50 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้ค่า  $Z_i = 1.176 - j6.617$  จาก  $Z_i$  ที่ความถี่ทั้งสองข้างต้น สามารถนำมาหาค่าจำนวนจินตภาพของอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
\frac{75-50}{-j4.395 - (-j6.617)} &= \frac{75-65}{-j4.395 - x} \\
\frac{25}{j2.222} &= \frac{10}{-j4.395 - x} \\
(25)(-j4.395 - x) &= (10)(j2.222) \\
-x &= \frac{j22.22}{25} + j4.395 \\
x &= -j5.284
\end{aligned}$$

จากการคำนวณจะได้ค่าจำนวนจินตภาพของอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ค่าความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ เท่ากับ  $-j5.284$  และจากรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าค่าจำนวนจริงของอินพุตอิมพีแดนซ์ตั้งแต่ช่วงความถี่ 25 ถึง 150 เมกะเฮิร์ตซ์ มีค่าคงที่ที่ 1.176 ตลอดทั้งช่วงความถี่ จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าจำนวนจริงของอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ค่าความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ มีค่าเท่ากับ 1.176 ด้วยเช่นกัน เพราะฉะนั้นจะได้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ คือ

$$Z_i = 1.176 - j5.284$$

การคำนวณหาเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของมอสเฟตที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ ( $Z_o$ ) จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 75 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้ค่า  $Z_o = 1.674 - j0.178$  และที่ความถี่ 50 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้ค่า  $Z_o = 1.688 - j0.120$  จาก  $Z_o$  ที่ความถี่ทั้งสองข้างต้น สามารถนำมาหาค่าจำนวนจริงของเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
\frac{75-50}{1.674-1.688} &= \frac{75-65}{1.674-x} \\
\frac{25}{-0.014} &= \frac{10}{1.674-x} \\
(25)(1.674-x) &= (10)(-0.014) \\
-x &= \frac{-0.14}{25} - 1.674 \\
x &= 1.680
\end{aligned}$$

จากการคำนวณจะได้ค่าจำนวนจริงของเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ค่าความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ เท่ากับ 1.680 และจาก  $Z_o$  ที่ความถี่ทั้งสองข้างต้น สามารถนำมาหาค่าจำนวนจินตภาพของเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \frac{75 - 50}{-j0.178 - (-j0.120)} &= \frac{75 - 65}{-j0.178 - x} \\
 \frac{25}{-j0.058} &= \frac{10}{-j0.178 - x} \\
 (25)(-j0.178 - x) &= (10)(-j0.058) \\
 -x &= \frac{-j0.58}{25} + j0.178 \\
 x &= -j0.155
 \end{aligned}$$

จากการคำนวณจะได้ค่าจำนวนจินตภาพของเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ค่าความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์เท่ากับ  $-j0.155$  จากการคำนวณทั้งสองข้างต้นจะได้ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์คือ

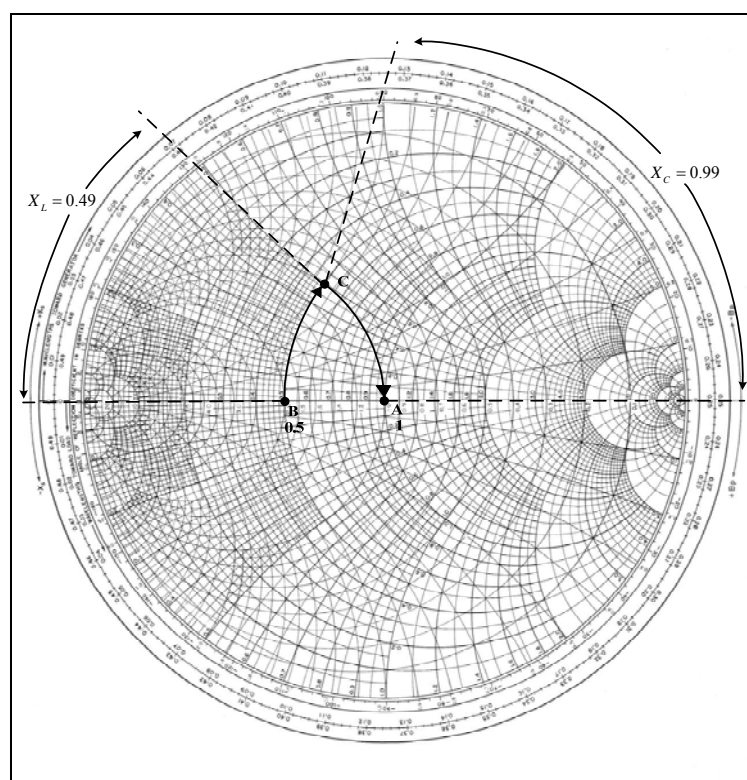
$$Z_o = 1.680 - j0.155$$

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าอินพุต / เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ ที่ได้จากการคำนวณ

อินพุตอิมพีแดนซ์ (โอห์ม) :	เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (โอห์ม) :
$1.176 - j5.284$	$1.680 - j0.155$

### 3.2.1 การออกแบบบาลันโดยการวนแผนภูมิสมิท

การออกแบบบาลันอินพุตจากการคำนวณ จากรูปที่ 2.7 โดยที่ตำแหน่งของอินพุตของวงจรอินพุตบาลันนั้นจะมีอิมพีแดนซ์อินพุตของวงจรบาลันอินพุตเท่ากับ 50 โอห์มและอิมพีแดนซ์เอาต์พุตของวงจรอินพุตบาลันคือ 25 โอห์ม ทำการนอร์มัลไลซ์ด้วย 50 จะได้อิมพีแดนซ์อินพุตบาลันเท่ากับ 1 และอิมพีแดนซ์เอาต์พุตบาลันเท่ากับ 0.5 แล้วนำค่าที่ได้จากการนอร์มัลไลซ์พล็อตลงบนแผนภูมิสมิท โดยกำหนดจุด A และ B และลากเส้นจาก A ไปยังจุด B เพื่อจำกัดค่าจริงแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การหาค่าความยาวบนแผนภูมิสมิทเพื่อจำกัดค่าจริงด้านบาส์อินพุต

จากนั้นหาค่าความยาวของแต่ละเส้นที่ลากจาก A ถึง B จากรูปที่ 3.2 โดยเส้นโค้ง BC คือการจำกัดค่าเพื่อหาค่า L อนุกรม มีค่า  $X_L = 0.49$  เส้นโค้ง CA คือการจำกัดค่า C ขนาน  $X_C = 0.99$  และสามารถนำค่าที่ได้คำนวณหาค่าจริงดังสมการที่ 2.18 และ 2.19 ดังนี้

$$X_C = \left[ \frac{1}{+jC} \right] \text{ (Normalize)}$$

$$X_L = [+jL] \text{ (Normalize)}$$

จะได้

$$X_C = \left[ \frac{1}{0.99} \right] (50) = 50.50 \Omega$$

$$X_L = [0.49] (50) = 24.5 \Omega$$

การออกแบบที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้ค่าองค์ประกอบจากการคำนวณโดยสมการที่ 2.20 และ 2.21 ต่อไปนี้

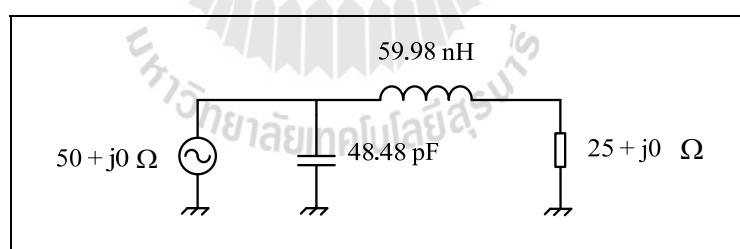
$$L = \frac{X_L}{\omega} \text{ และ } C = \frac{1}{\omega X_C}$$

ดังนั้นจะได้

$$C = \frac{1}{2\pi(65 \times 10^6)(50.50)} = 48.48 \text{ pF}$$

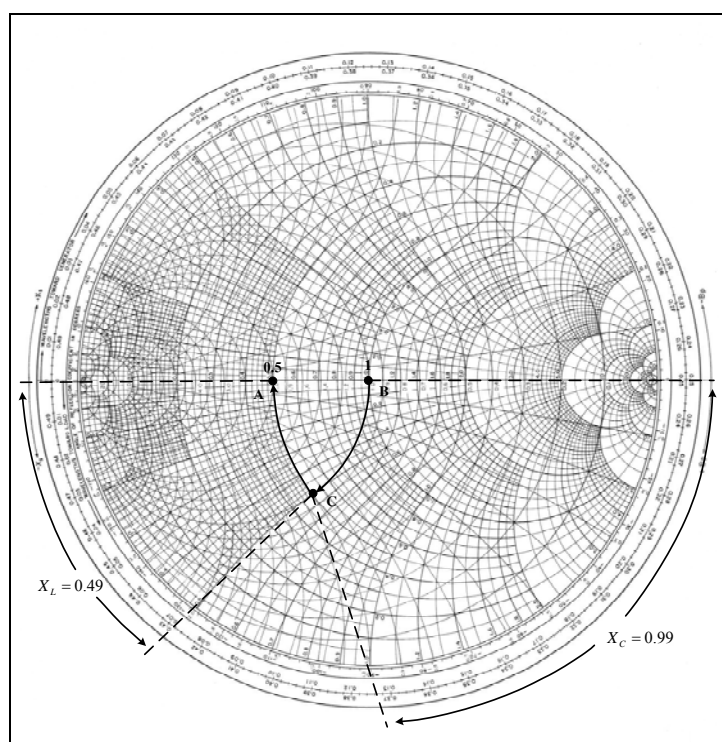
$$L = \frac{24.5}{2\pi(65 \times 10^6)} = 59.98 \text{ nH}$$

ดังนั้นได้ค่าองค์ประกอบด้านอินพุตดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรโคจรข่ายแมตซ์ซึ่งบาลันอินพุต

การออกแบบบาลันเอาต์พุตจากการคำนวณ โดยที่ตำแหน่งของอินพุตของวงจรอินพุตบาลันนั้นจะมีอิมพีแดนซ์อินพุตของวงจรบาลันอินพุตเท่ากับ 25 โอห์มและอิมพีแดนซ์เอาต์พุตของวงจรอินพุตบาลันคือ 50 โอห์ม ทำการนอร์แมลไลซ์ด้วย 50 จะได้อิมพีแดนซ์อินพุตบาลันเท่ากับ 0.5 และอิมพีแดนซ์เอาต์พุตบาลันเท่ากับ 1 แล้วนำค่าที่ได้จากการนอร์แมลไลซ์พล็อตลงบนแผนภูมิสมิทโดยกำหนดจุด A และ B และลากเส้นจาก A ไปยังจุด B เพื่อจำกัดค่าจริงแสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การหาค่าความยาวบนแผนภูมิสมิทเพื่อจำกัดค่าจริงด้านบาลันเอาต์พุต

จากนั้นหาค่าความยาวของแต่ละเส้นที่ลากจาก A ถึง B จากรูปที่ 3.4 โดยเส้นโค้ง CA คือการจำกัดค่าเพื่อหาค่า L อนุกรม มีค่า  $X_L = 0.49$  เส้นโค้ง BC คือการจำกัดค่า C ขนาน  $X_C = 0.99$  และสามารถนำค่าที่ได้คำนวณหาค่าจริงดังนี้

$$X_C = \left[ \frac{1}{0.99} \right] (50) = 50.50 \Omega$$

$$X_L = [0.49] (50) = 24.5 \Omega$$

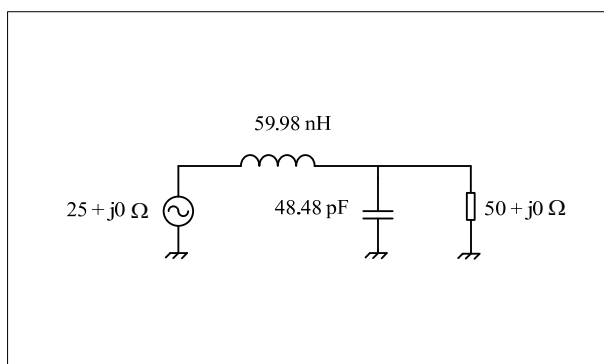
การออกแบบที่มีความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้ค่าองค์ประกอบจากการคำนวณ ดังนั้นจะได้

$$C = \frac{1}{2\pi(65 \times 10^6)(50.50)} = 48.48 \text{ pF}$$



$$L = \frac{24.5}{2\pi(65 \times 10^6)} = 59.98 \text{ nH}$$

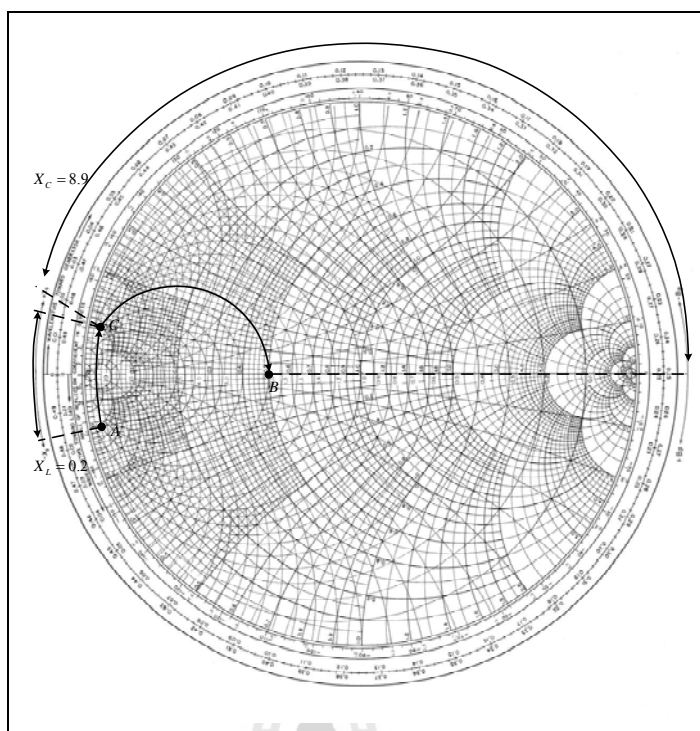
ดังนั้นได้ค่าองค์ประกอบด้านอินพุตดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจร โคร่งข่ายแมตซ์ซึ่งบาลันเอาต์พุต

### 3.2.2 การออกแบบแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์โดยการวนแผนภูมิสมิท

การออกแบบวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต จะทำหน้าที่แมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างวงจรอินพุตบาลันกับอินพุตของทรานซิสเตอร์ นั่นคือค่า  $25 + j0$  โอห์ม กับ  $1.176 - j5.284$  โอห์ม ทำการนอร์แมลไลซ์ด้วย 50 จะได้อินพุตอิมพีแดนซ์แมตซ์ซึ่งเท่ากับ 0.5 และอินพุตของทรานซิสเตอร์เท่ากับ  $0.023 - j0.105$  แล้วนำค่าที่ได้จากการนอร์แมลไลซ์พล็อตลงบนแผนภูมิสมิท โดยกำหนดจุด A และ B และลากเส้นจาก A ไปยังจุด B เพื่อจำกัดค่าจริงแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การหาค่าความยาวบนแผนภูมิสมิทเพื่อจำกัดค่าจริงด้านแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์อินพุต

จากนั้นหาค่าความยาวของแต่ละเส้นที่ลากจาก A ถึง B จากรูปที่ 3.6 โดยเส้นโค้ง AC คือการจำกัดค่าเพื่อหาค่า L อนุกรม มีค่า  $X_L = 0.20$  เส้นโค้ง CB คือการจำกัดค่า C ขนาน  $X_C = 8.90$  และสามารถนำค่าที่ได้คำนวณหาค่าจริงดังนี้

$$X_C = \left[ \frac{1}{8.90} \right] (50) = 5.61 \Omega$$

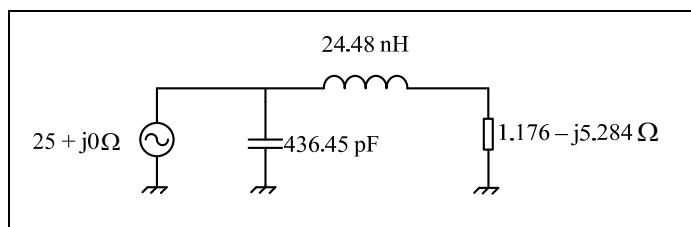
$$X_L = [0.20] (50) = 10 \Omega$$

การออกแบบที่ความถี่ 65 เมกะเฮิรตซ์ จะได้อำงค์ประกอบจากการคำนวณ ดังนั้นจะได้

$$C = \frac{1}{2\pi(65 \times 10^6)(5.61)} = 436.45 \text{ pF}$$

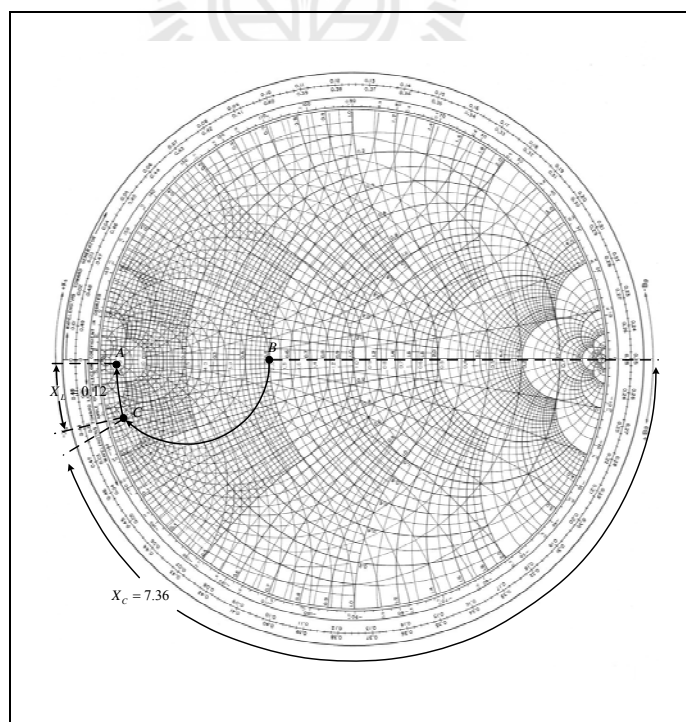
$$L = \frac{10}{2\pi(65 \times 10^6)} = 24.48 \text{ nH}$$

ดังนั้นได้ค่าองค์ประกอบด้านอินพุตดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจร โครจข่ายเมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์อินพุต

การออกแบบวงจรเมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต จะทำหน้าที่เมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์กับวงจรเอาต์พุตบาลัน นั่นคือค่า  $1.680 - j0.155$  โอห์ม กับ  $25 + j0$  โอห์ม ทำการนอร์แมลไลซ์ด้วย 50 จะได้เอาต์พุตของทรานซิสเตอร์เท่ากับ  $0.033 - j0.003$  และเอาต์พุตบาลันเท่ากับ 0.5 แล้วนำค่าที่ได้จากการนอร์แมลไลซ์พล็อตลงบนแผนภูมิสมิท โดยกำหนดจุด A และ B และลากเส้นจาก A ไปยังจุด B เพื่อจำกัดค่าจริงแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การหาค่าความยาวบนแผนภูมิสมิทเพื่อจำกัดค่าจริงด้านเมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์เอาต์พุต

จากนั้นหาค่าความยาวของแต่ละเส้นที่ลากจาก A ถึง B จากรูปที่ 3.8 โดยเส้นโค้ง CA คือการจำกัดค่าเพื่อหาค่า L อนุกรม มีค่า  $X_L = 0.12$  เส้นโค้ง BC คือการจำกัดค่า C ขนาน  $X_C = 7.36$  และสามารถนำค่าที่ได้คำนวณหาค่าจริงดังนี้

$$X_C = \left[ \frac{1}{7.36} \right] (50) = 6.79 \Omega$$

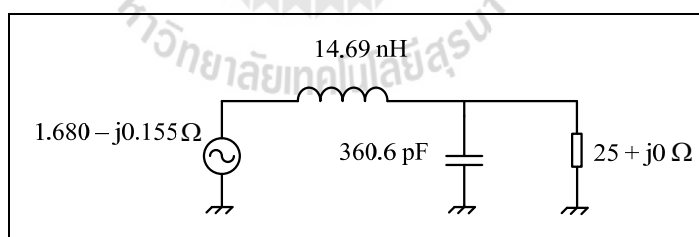
$$X_L = [0.12] (50) = 6 \Omega$$

การออกแบบที่มีความถี่ 65 เมกะเฮิรตซ์ จะได้ค่าองค์ประกอบจากการคำนวณ ดังนี้จะได้

$$C = \frac{1}{2\pi(65 \times 10^6)(6.79)} = 360.60 \text{ pF}$$

$$L = \frac{6}{2\pi(65 \times 10^6)} = 14.69 \text{ nH}$$

ดังนั้นได้ค่าองค์ประกอบด้านอินพุตดังรูปที่ 3.9



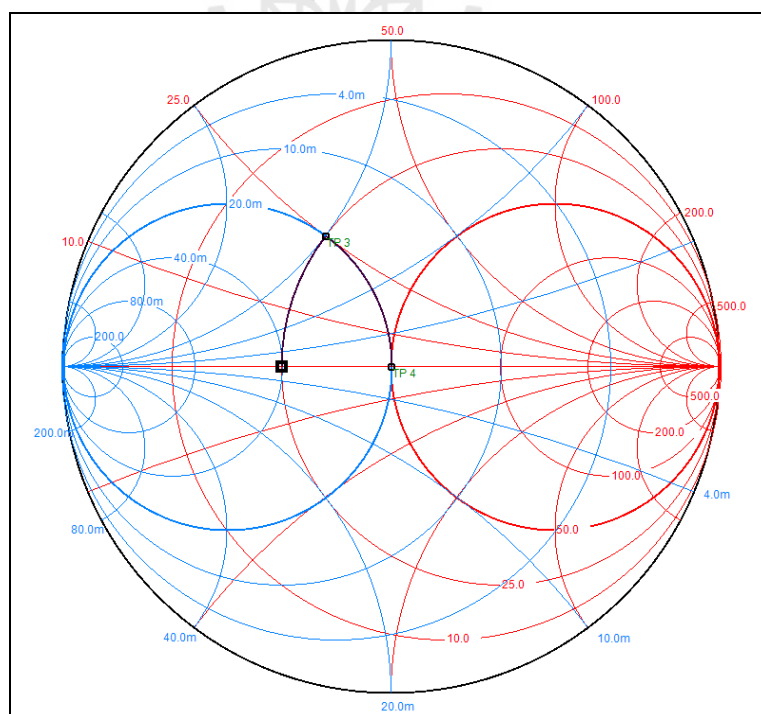
รูปที่ 3.9 วงจรโครงข่ายแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์เอาต์พุต

### 3.2.3 การออกแบบบาลันโดยใช้โปรแกรม Smith V3.10

การออกแบบบาลันนั้น จะต้องเลือกใช้สายโคแอกเซียลที่เหมาะสมตามความสามารถของสาย เช่น ถ้าออกแบบบาลันทางด้านเอาต์พุตซึ่งเป็นด้านที่รับกำลังของสัญญาณสูง ก็ควรที่จะเลือกใช้สายโคแอกเซียลที่สามารถรับกำลังของสัญญาณที่สูงได้ตามไปด้วย เป็นต้น บาลันมีหน้าที่แยกสัญญาณอินพุตออกเป็นสองสัญญาณ โดยที่ตำแหน่งของวงจรบาลันนั้นจะมี

อิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์มและอินพุตอิมพีแดนซ์ของอินพุตแมตซ์ซึ่งเน็ตเวิร์คแต่ละซีกมีค่าเป็น 25 โอห์ม ซึ่งในที่นี้จะเลือกใช้สาย Semi Rigid Coaxial Cable RG405 ในการออกแบบบอลลูนทางด้านอินพุต และเลือกใช้สาย Coaxial Cable RG402 ในการออกแบบบอลลูนทางด้านเอาต์พุต และสามารถคำนวณค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าของสายส่งสัญญาณได้จากสมการที่ 2.12 และ 2.13 ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

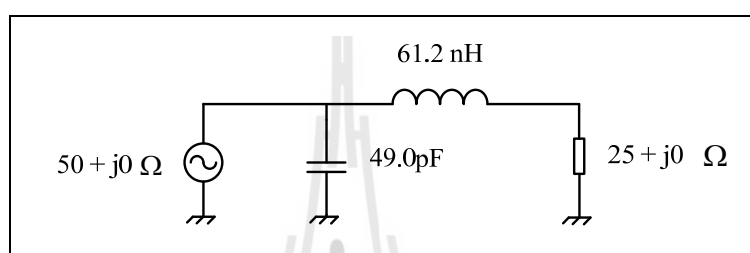
การออกแบบบอลลูนทางด้านอินพุต โดยที่ตำแหน่งของอินพุตของวงจรอินพุตบอลลูนนั้นจะมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์มและอิมพีแดนซ์เอาต์พุตของวงจรอินพุตบอลลูนคือ 25 โอห์ม โดยที่จะทำการออกแบบวงจรอินพุตบอลลูนด้วยแมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่าง 50 โอห์มฝั่งอินพุตกับ 25 โอห์มฝั่งเอาต์พุตของวงจรบอลลูน ในวงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่ย่านวิทยุที่จะเลือกใช้สาย Semi Rigid Coaxial Cable RG405 ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ที่ 50 โอห์ม และมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านใน (inner conductor, a) เท่ากับ 0.56 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านนอก (outer conductor, b) เท่ากับ 2.19 mm. และ Dielectric เป็น PTFE ซึ่งจะมีค่า  $\epsilon_r = 2.1$  และจะใช้โปรแกรม Smith V3.10 เพื่อคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าในวงจรบอลลูน ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.10 แสดงการวางแผนภูมิสมิทเพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าของวงจรบอลลูนทางด้านอินพุต

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงค่าองค์ประกอบในแผนภูมิสมิทของวงจรบาลันทางด้านอินพุต

Point	Z ( $\Omega$ )	Q	Frequency (MHz)
DP 1	(50.000 + j00.000)	0.000	65
DP 2	(25.000 + j00.000)	0.000	65
TP 3	(25.000 + j25.000)	1.000	65
TP4	(50.000 - j00.000)	0.000	65



รูปที่ 3.11 วงจรโครงข่ายเมตซ์ซึ่งของวงจรบาลันทางด้านอินพุต

จากที่ได้ทราบค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านนอก ( $b$ ) = 2.19 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านใน ( $a$ ) = 0.56 มิลลิเมตร และ Dielectric เป็น PTFE ซึ่งจะมีค่า  $\epsilon_r = 2.1$  สามารถนำมาคำนวณค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าได้ดังนี้

ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า :

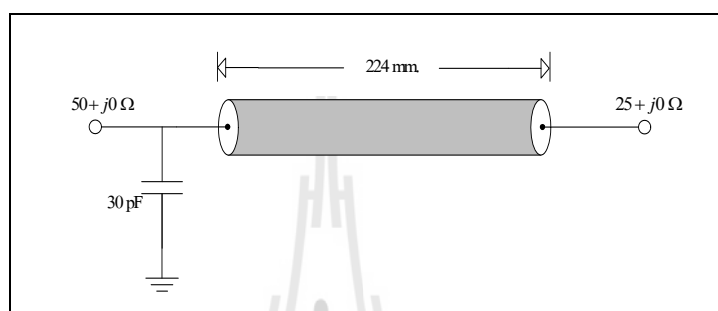
$$L = 460.517 \times \log\left(\frac{b}{a}\right), L = 460.517 \times \log\left(\frac{2.19}{0.56}\right), L = 272.626 \text{ nH/m}$$

ค่าความจุไฟฟ้า :

$$C = \frac{24.16 \times \epsilon_r}{\log\left(\frac{b}{a}\right)}, C = \frac{24.16 \times 2.1}{\log\left(\frac{2.19}{0.56}\right)}, C = 85.702 \text{ pF/m}$$

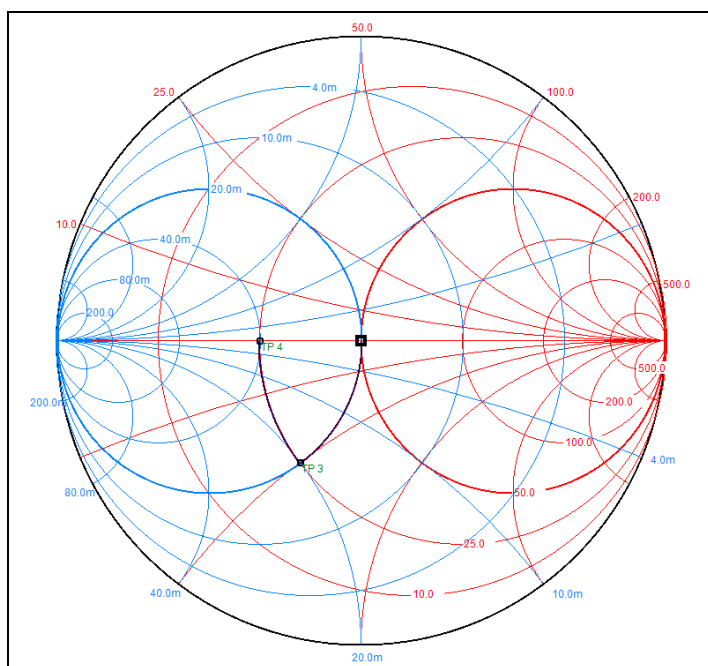
เพราะฉะนั้นที่ความยาวสาย 1 เมตร มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเท่ากับ 272.626 nH/m และมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 85.702 pF/m

จากรูปที่ 3.11 จะเห็นว่าต้องการสายที่มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า 61.2 nH เพราะฉะนั้นต้องตัดสายให้ได้ความยาว  $x = \frac{1 \times 61.2}{272.626}$  เท่ากับ 224 มิลลิเมตร และสามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของสายได้จาก  $C = 85.702 \times 0.224 = 19.197$  pF และจากรูปที่ 3.3 จะต้องใช้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 49.0 pF เพราะฉะนั้นต้องเพิ่มค่าความจุไฟฟ้าเข้าไปในวงจรอีก 29.803 pF หรือประมาณ 30 pF จะได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แสดงความยาวของสายโคแอกเซียลและค่าความจุไฟฟ้าสำหรับแมตซ์ซึ่งบาลันอินพุต

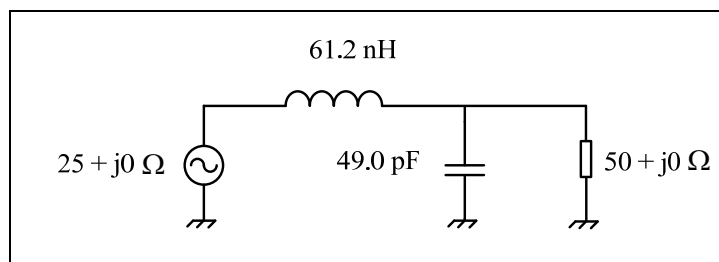
การออกแบบบาลันทางด้านเอาต์พุต โดยในการออกแบบนั้นจะคล้ายกับการออกแบบวงจรอินพุตบาลัน ซึ่งจะทำให้การแมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่าง 25 โอห์มกับ 50 โอห์ม ในวงจรขยายสัญญาณความถี่ย่านวิทยุ จะเลือกใช้สาย Coaxial Cable RG402 ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ที่ 50 โอห์ม และมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านใน (a) เท่ากับ 0.91 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านนอก (b) เท่ากับ 4.55 มิลลิเมตร และ Dielectric เป็น PTFE ซึ่งจะมีค่า  $\epsilon_r = 2.1$  และจะใช้โปรแกรม Smith V3.10 เพื่อคำนวณหาความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าในวงจรบาลัน ดังแสดงในรูปที่ 3.13 และตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.13 แสดงการวนแผนภูมิสมิทเพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าของวงจรบาลันทางด้านเอาต์พุต

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่าองค์ประกอบในแผนภูมิสมิทของวงจรบาลันทางด้านเอาต์พุต

Point	Z ( $\Omega$ )	Q	Frequency (MHz)
DP 1	(25.000 + j0.000)	0.000	65
DP 2	(50.000 + j0.000)	0.000	65
TP 3	(24.985 - j25.000)	1.001	65
TP 4	(24.985 - j00.005)	0.000	65



รูปที่ 3.14 วงจรโครงข่ายแมตซ์ซิ่งของวงจรบาลันทางด้านเอาต์พุต



จากที่ได้ทราบค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านนอก ( $b$ ) = 4.55 mm, เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านใน ( $a$ ) = 0.91 mm และ Dielectric เป็น PTFE ซึ่งจะมีค่า  $\epsilon_r = 2.1$  สามารถนำมาคำนวณค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าได้ดังนี้

ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า :

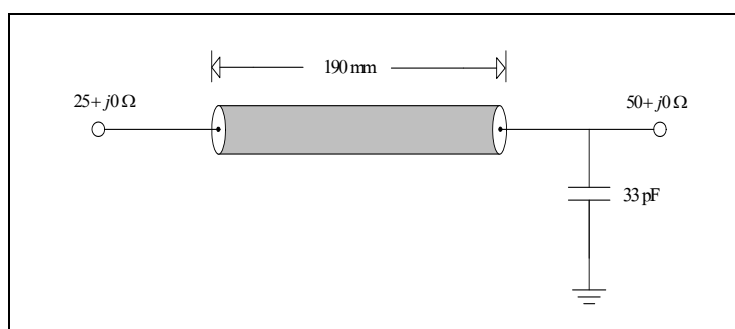
$$L = 460.517 \times \log\left(\frac{b}{a}\right), L = 460.517 \times \log\left(\frac{4.55}{0.91}\right), L = 321.9 \text{ nH/m}$$

ค่าความจุไฟฟ้า :

$$C = \frac{24.16 \times \epsilon_r}{\log\left(\frac{b}{a}\right)}, C = \frac{24.16 \times 2.1}{\log\left(\frac{4.55}{0.91}\right)}, C = 72.584 \text{ pF/m}$$

เพราะฉะนั้นที่ความยาวสาย 1 เมตร มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเท่ากับ 321.9 nH/m และมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 72.584 pF/m

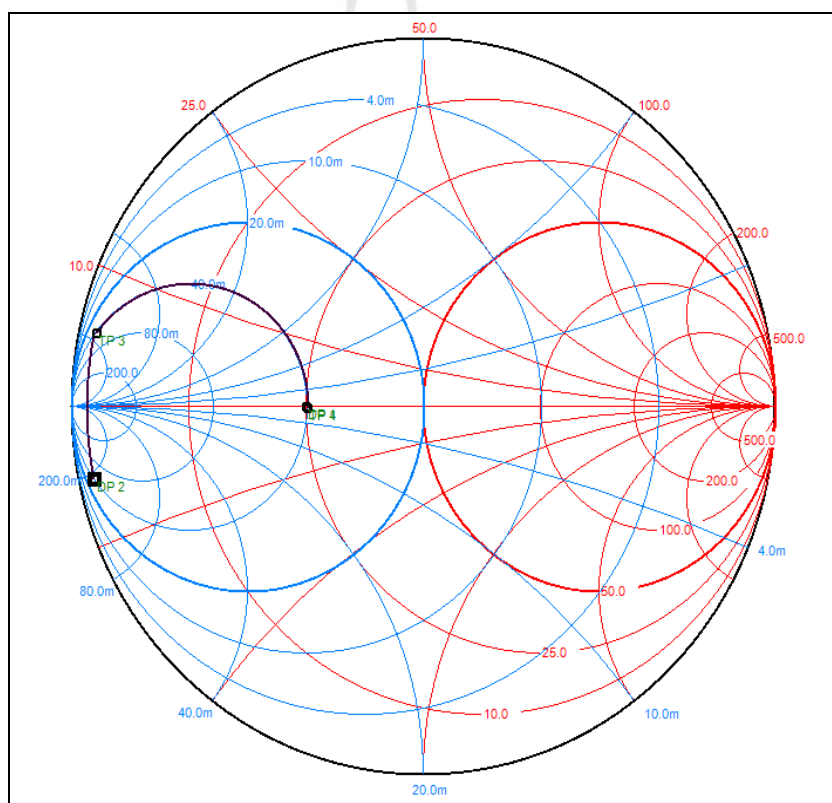
จากรูปที่ 3.14 จะเห็นว่าต้องการสายที่มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า 61.2 nH เพราะฉะนั้นต้องตัดสายให้ได้ความยาว  $x = \frac{1 \times 61.2}{321.9}$  เท่ากับ 190.12 มิลลิเมตร และสามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของสายได้จาก  $C = 72.584 \times 0.190 = 13.79 \text{ pF}$  และจากรูปที่ 3.6 จะต้องใช้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 49.00 pF เพราะฉะนั้นต้องเพิ่มค่าความจุไฟฟ้าเข้าไปในวงจรอีก 35.21 pF หรือประมาณ 33 pF ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงความยาวของสายโคแอกเซียลและค่าความจุไฟฟ้าสำหรับแมตซ์ชิงบาลันเอาต์พุต

### 3.2.4 การออกแบบวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์โดยใช้โปรแกรม Smith V3.10

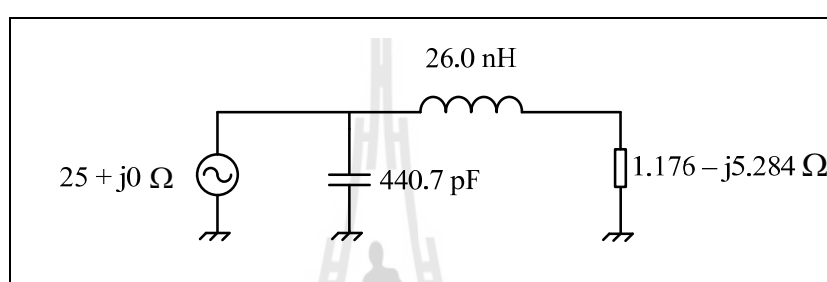
การออกแบบวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต จะทำหน้าที่แมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างวงจรอินพุตบาลั้กับอินพุตของทรานซิสเตอร์ นั่นคือค่า  $25 + j0$  โอห์ม กับ  $1.176 - j5.284$  โอห์ม การออกแบบวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตนี้ จะเลือกใช้สาย Semi Rigid Coaxial Cable M17/152 ในการออกแบบ ซึ่งจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านใน (a) เท่ากับ 0.53 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านนอก (b) เท่ากับ 1.45 มิลลิเมตร และ Dielectric เป็น PTFE ซึ่งจะมีค่า  $\epsilon_r = 2.1$  และจากที่ได้ทำการคำนวณหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ไว้ข้างต้นที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์จะได้ค่า  $Z_L = 1.176 - j5.284$  นำไปหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ ในโปรแกรม Smith V3.10 ดังแสดงในรูปที่ 3.16 และตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.16 แสดงการวางแผนภูมิสมิทเพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าของวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงค่าองค์ประกอบในแผนภูมิสมิทของวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ด้านอินพุต

Point	Z ( $\Omega$ )	Q	Frequency (MHz)
DP 1	(25.000 + j0.000)	0.000	65
DP 2	(1.176 - j5.284)	4.493	65
TP 3	(1.176 + j5.314)	4.519	65
TP 4	(25.185 - j0.364)	0.014	65



รูปที่ 3.17 วงจรโครงข่ายแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต

จากที่ได้ทราบค่า  $b = 1.45$  มิลลิเมตร,  $a = 0.53$  มิลลิเมตร และ Dielectric เป็น PTFE ซึ่งจะมีค่า  $\epsilon_r = 2.1$  สามารถนำมาคำนวณค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าได้ ดังนี้

ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า :

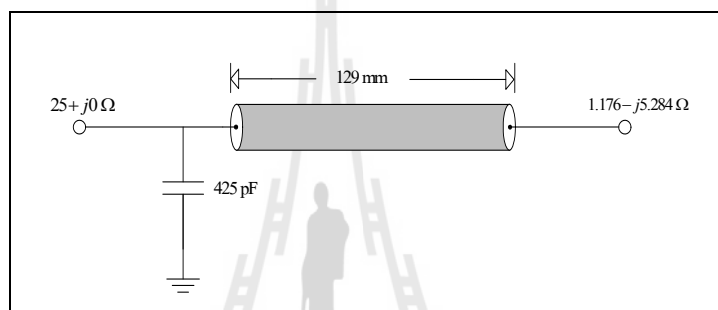
$$L = 460.517 \times \log\left(\frac{b}{a}\right), L = 460.517 \times \log\left(\frac{1.45}{0.53}\right), L = 201.245 \text{ nH/m}$$

ค่าความจุไฟฟ้า :

$$C = \frac{24.16 \times \epsilon_r}{\log\left(\frac{b}{a}\right)}, C = \frac{24.16 \times 2.1}{\log\left(\frac{1.45}{0.53}\right)}, C = 116.1 \text{ pF/m}$$

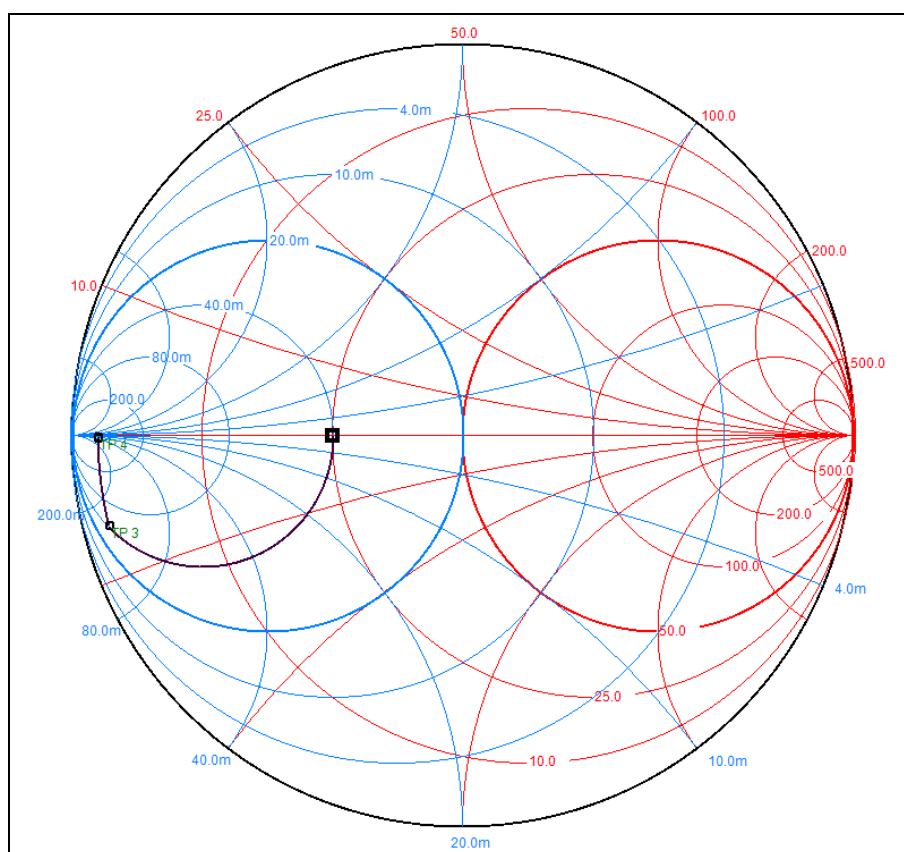
เพราะฉะนั้นที่ความยาวสาย 1 เมตร มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเท่ากับ 201.245 nH/m และมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 116.1 pF/m

จากรูปที่ 3.17 จะเห็นว่าต้องการสายที่มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า 26.0 nH เพราะฉะนั้นต้องตัดสายให้ได้ความยาว  $x = \frac{1 \times 26}{201.245} = 129$  มิลลิเมตร และสามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของสายได้จาก  $C = 116.1 \times 0.129 = 14.977$  pF และจากรูปที่ 3.9 จะต้องใช้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 440.7 pF เพราะฉะนั้นต้องเพิ่มค่าความจุไฟฟ้าเข้าไปในวงจรอีก 425.723 pF หรือประมาณ 425 pF ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงความยาวของสาย โคอแอกเซียลและค่าความจุไฟฟ้าสำหรับแมตซ์ซึ่งด้านอินพุต

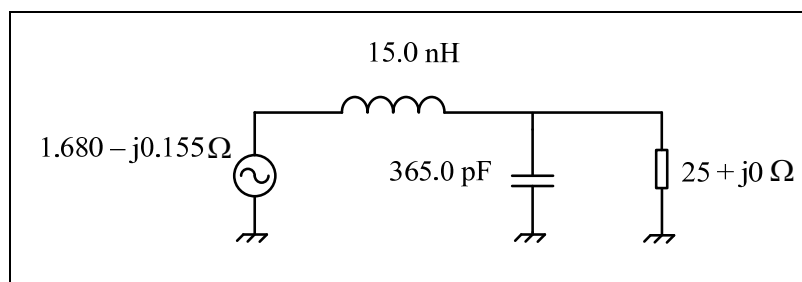
การออกแบบวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต ซึ่งจะมีหน้าที่แมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างด้านเอาต์พุตของทรานซิสเตอร์กับอินพุตของวงจรเอาต์พุตบาลัน นั้นคือระหว่างค่าของ  $1.680 - j0.155$  โอห์ม กับ  $25 + j0$  โอห์มจะเลือกใช้สาย Coaxial Cable EZ-141-25 ในการออกแบบ ซึ่งจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านใน (a) เท่ากับ 1.2 mm. เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านนอก (b) เท่ากับ 2.87 mm. และ Dielectric เป็น PTFE ซึ่งจะมีค่า  $\epsilon_r = 2.1$  และจากที่ได้ทำการคำนวณหาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ไว้ข้างต้นที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้อ่า  $Z_o = 1.680 - j0.155$  นำไปหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ ในโปรแกรม Smith V3.10 ดังแสดงในรูปที่ 3.19 และตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.19 แสดงการวางแผนภูมิสมิทเพื่อหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความสูญเสียของ วงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงค่าองค์ประกอบในแผนภูมิสมิทของวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ด้านเอาต์พุต

Point	Z ( $\Omega$ )	Q	Frequency (MHz)
DP 1	(1.680 - j0.155)	0.092	65
DP 2	(25.000 + j0.000)	0.000	65
TP 3	(1.679 - j6.258)	3.727	65
TP 4	(1.679 + j0.132)	0.078	65



รูปที่ 3.20 วงจร กระจายแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต

จากที่ทราบค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านนอก ( $b$ ) = 2.87 mm, เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำด้านใน ( $a$ ) = 1.2 mm และ Dielectric เป็น PTFE ซึ่งจะมีค่า  $\epsilon_r = 2.1$  สามารถนำมาคำนวณค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าได้ดังนี้

ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า :

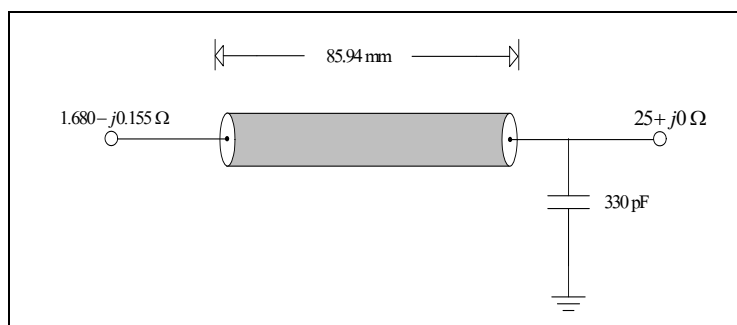
$$L = 460.517 \times \log\left(\frac{b}{a}\right), L = 460.517 \times \log\left(\frac{2.87}{1.2}\right), L = 174.54 \text{ nH/m}$$

ค่าความจุไฟฟ้า :

$$C = \frac{24.16 \times \epsilon_r}{\log\left(\frac{b}{a}\right)}, C = \frac{24.16 \times 2.1}{\log\left(\frac{2.87}{1.2}\right)}, C = 133.87 \text{ pF/m}$$

เพราะฉะนั้นที่ความยาวสาย 1 เมตร มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเท่ากับ 174.54 nH/m และมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 133.87 pF

จากรูปที่ 3.20 จะเห็นว่าต้องการสายที่มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า 15.0 nH เพราะฉะนั้นต้องตัดสายให้ได้ความยาว  $x = \frac{1 \times 15.0}{174.54} = 85.94$  มิลลิเมตร และสามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของสายได้จาก  $C = 133.87 \times 0.085 = 11.378$  pF และจากรูปที่ 3.12 จะต้องใช้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 365 pF เพราะฉะนั้นต้องเพิ่มค่าความจุไฟฟ้าเข้าไปในวงจรอีก 353.622 pF หรือประมาณ 330 pF ดังแสดงในรูปที่ 3.21

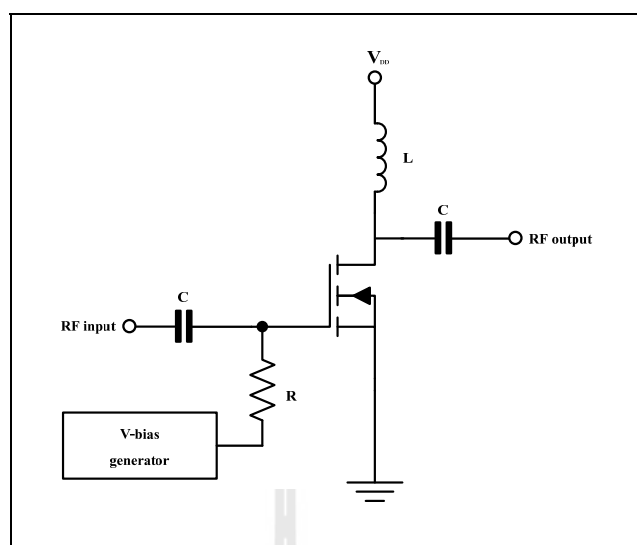


รูปที่ 3.21 แสดงความยาวของสายโคแอกเซียลและค่าความจุไฟฟ้าสำหรับแมตซ์ซึ่งด้านเอาต์พุต

### 3.2.5 วงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุที่ความถี่ 65 เมกะเฮิรตซ์

ในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุ จะนำเอาการออกแบบวงจรที่ได้คำนวณมาจากข้างต้นมาประกอบให้เป็นวงจรขยายสัญญาณวิทยุ โดยจะคิดแยกเป็นวงจรทางด้านอินพุตและวงจรทางด้านเอาต์พุตและใช้มอสเฟต เบอร์ BLF578 เป็นตัวขยายสัญญาณ โดยจะไบแอสที่ขาเดรน 48 โวลต์ โดยการออกแบบใช้แผ่นวงจรพิมพ์ RF35 ที่มีความหนา 0.76 มิลลิเมตร โดยแผ่นทองแดงหนาประมาณ 0.035 มิลลิเมตร  $\epsilon_r$  เท่ากับ 3.5 มีขนาดความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร และความกว้างเท่ากับ 5.5 เซนติเมตร เชื่อมต่อด้วยสายโคแอกเซียลทั้งด้านอินพุตและเอาต์พุต ระบายความร้อนด้วยแผ่นทองแดงหนา 6 มิลลิเมตร

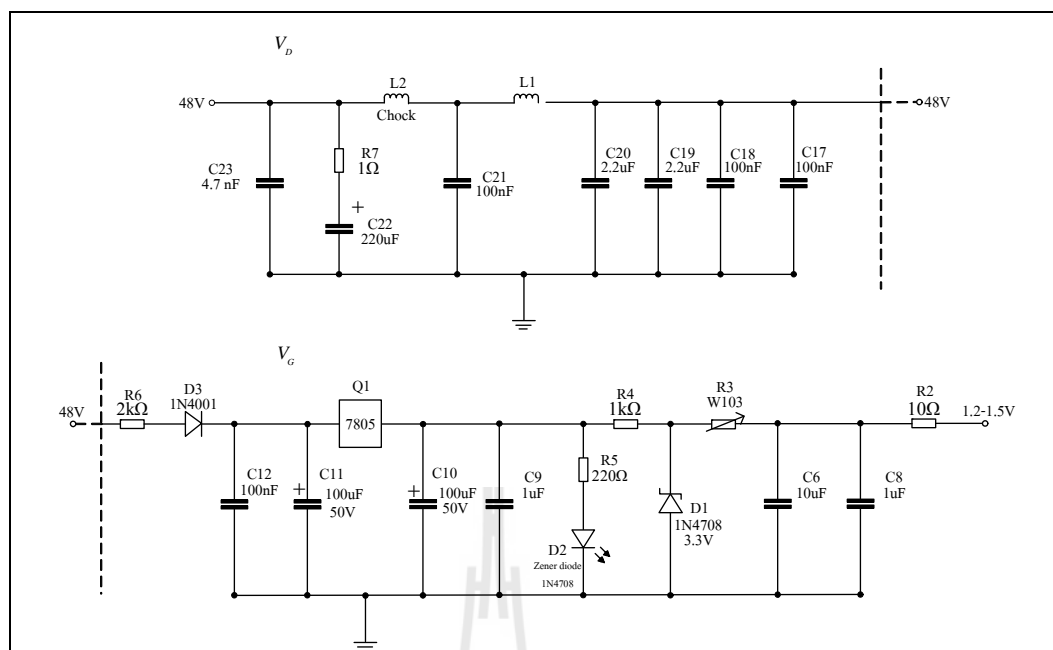
วงจรไบแอส คือการจ่ายไฟให้กับวงจร ซึ่งมอสเฟตเบอร์ BLF578 เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด LDMOS โดยถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานที่สัญญาณความถี่สูงและแรงดันสูง การไบแอสของทรานซิสเตอร์ชนิด LDMOS จะทำการไบแอสสองส่วน คือไบแอสที่ขาเกตและไบแอสที่ขาเดรน การไบแอสทรานซิสเตอร์ชนิดนี้จะไบแอสเพื่อรักษาระดับของ  $I_{DQ}$  ไม่ให้เปลี่ยนแปลงมาก โดยการที่จะรักษาระดับของ  $I_{DQ}$  นั้นจะทำได้โดยการรักษาระดับแรงดันที่ขาเกตของทรานซิสเตอร์ให้คงที่ โดยจะใช้วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulator) ในการคงค่าแรงดันที่ขาเกต ซึ่งจะมีค่าประมาณ 1.2-1.5 โวลต์ ส่วนที่ขาเดรนนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 48 โวลต์ โดยวงจรไบแอสที่ขาเดรนก็จะมีตัวเหนี่ยวนำค่ามาก ๆ (Choke) เพื่อเอาไว้ป้องกันสัญญาณกระแสสลับไม่ให้เข้ามาจนสัญญาณกระแสตรงได้ และยังมีตัวเก็บประจุต่อกร่อมกราวด์เพื่อปรับสัญญาณไฟเลี้ยงวงจรกระแสตรงให้เรียบ ดังแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 โครงสร้างของวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด LDMOS

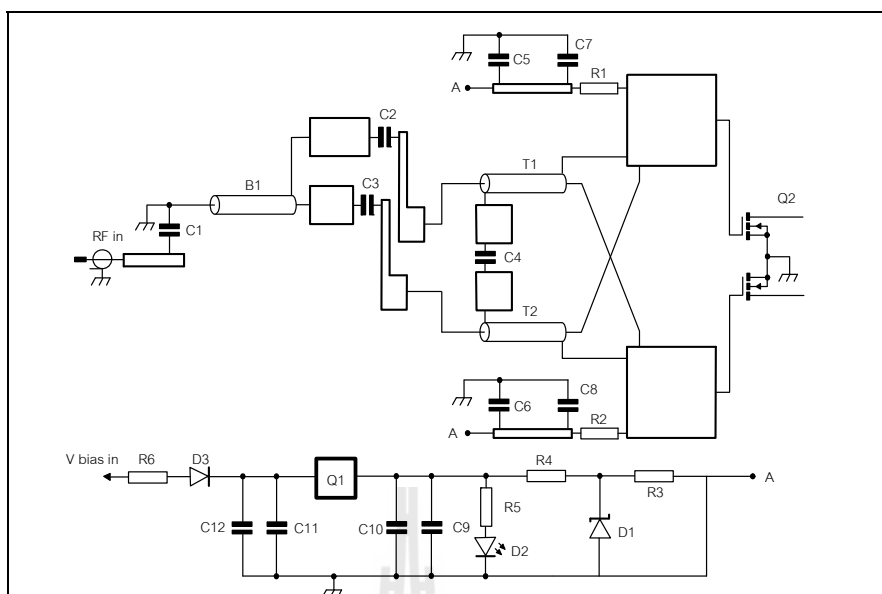
ในการออกแบบวงจรไบอัสนี้ จะเลือกใช้ ไอซี 7805 ในการออกแบบวงจรรักษา ระดับแรงดันที่ขาเกตร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันอย่างง่ายที่ใช้ซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N4708 กับ ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 1000 โอห์ม โดยอินพุตของวงจรรวมนี้จะแบ่งแรงดันมาจากขาเดรน 48 โวลต์ แล้วใช้ตัวต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม ต่ออนุกรมเพื่อลดแรงดันและกระแส โดยเมื่อป้อน แรงดันที่ประมาณ 1.25 โวลต์ ระดับกระแส  $I_{DQ}$  จะอยู่ที่ประมาณ 60 มิลลิแอมป์และในการออกแบบ วงจรไบอัสที่ขาเดรนนั้นจะมีระดับแรงดัน 48 โวลต์ โดยเราจะใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีค่ามาก ๆ มาต่อ อนุกรมเพื่อป้องกันไฟกระแสสลับเข้ามาจนไฟกระแสตรง และยังใช้ตัวเก็บประจุต่อคร่อมกับ กราวด์เพื่อปรับให้ไฟกระแสตรงเรียบมากขึ้น วงจรไบอัสที่ขาเดรนนั้นต้องการอุปกรณ์ที่สามารถ ทนความร้อนและกระแสที่สูงได้ โดยที่กระแสที่ไหลผ่านนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 0-15 แอมป์ ขึ้นกับ ระดับสัญญาณอินพุตของวงจรรขยายด้วย ซึ่งวงจรรขยายกำลังสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุด้านอินพุต แสดงดังรูป 3.23





รูปที่ 3.23 วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ LDMOS ที่ออกแบบ

วงจรรขยายสัญญาณย่านคลื่นความถี่วิทยุด้านอินพุต ในวงจรแมตซ์ซิ่งอินพุตของวงจรรขยายชนิดพหุ-พูล นั้นจะมีอยู่สองวงจรคือแมตซ์ซิ่งอินพุตของด้านซีกบวกและซีกลบ โดยในแต่วงจรจะมีตัวเก็บประจุที่ต่อลงกราวด์อยู่ดังนั้นจะนำตัวเก็บประจุเหล่านั้นมารวมกัน จะได้ค่าตัวเก็บประจุของวงจรมแมตซ์ซิ่งอินพุตใหม่เป็น  $425 + 425 = 850 \text{ pF}$  ประกอบด้วย วงจรบาลันวงจรรขยายสัญญาณ วงจรไบอัส รวมไปถึงการออกแบบหาแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 วงขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุด้านอินพุต

โดยสามารถอธิบายอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรได้ดังตารางที่ 3.6

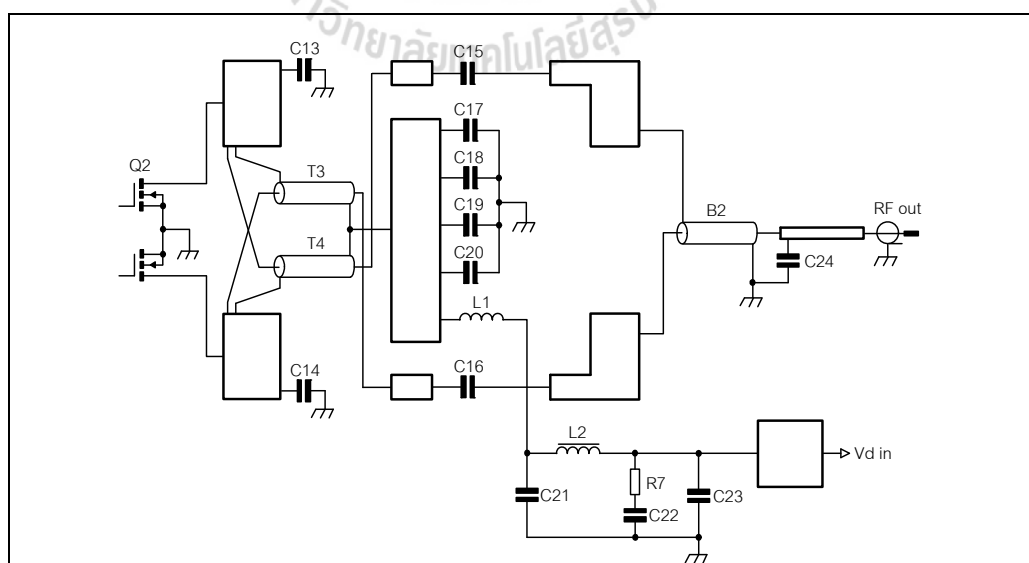
ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงค่าต่าง ๆ ของวงจรวางขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุด้านอินพุต

อุปกรณ์	รายละเอียด
B1	Semi Rigid Coaxial Cable RG405, 224 mm
T1, T2	M17/152 Semi Rigid Coaxial Cable M17/152, 129 mm
C1	30 pF
C2, C3	4.7 nF
C4	850 pF
C5, C6	10 $\mu$ F
C7, C8, C9	1 $\mu$ F
C10, C11	100 $\mu$ F
C12	100 nF
R1,R2	10 $\Omega$
R3	ตัวต้านทานปรับค่าได้ 1k $\Omega$ (W103)
R4	1k $\Omega$

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าต่าง ๆ ของวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุด้านอินพุต (ต่อ)

อุปกรณ์	รายละเอียด
R5	220 $\Omega$
R6	2k $\Omega$
D1	ซีเนอร์ไดโอด 1N4708, 3.3V
D2	ไดโอดเปล่งแสง LED
D3	1N4001
Q1	7805 Voltage regulator
Q2	BLF578

วงจรขยายสัญญาณย่านคลื่นความถี่วิทยุด้านเอาต์พุต การรวมกันของวงจรเอาต์พุตแมตซ์ซิ่งและวงจรเอาต์พุตบาลันนั้น จะมีตัวเก็บประจุที่ต่ออนุกรมกันอยู่และอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน นั่นคือตัวเก็บประจุขนาด 330pF ของวงจรเอาต์พุตบาลัน และตัวเก็บประจุ 330 pF ของวงจรเอาต์พุตแมตซ์ซิ่ง ดังนั้นเราจะทำการรวมให้เป็นตัวเก็บประจุตัวเดียว เราจะได้ค่าตัวเก็บประจุใหม่เป็น 165pF ( $C = (330 \times 330) / (330 + 330) = 165 pF$ ) มีหลักการทำงานและการออกแบบที่คล้ายกันกับวงจรอินพุตเพียงแต่ไม่มีการออกแบบวงจรไบอัสแสดงดังรูปที่ 3.25



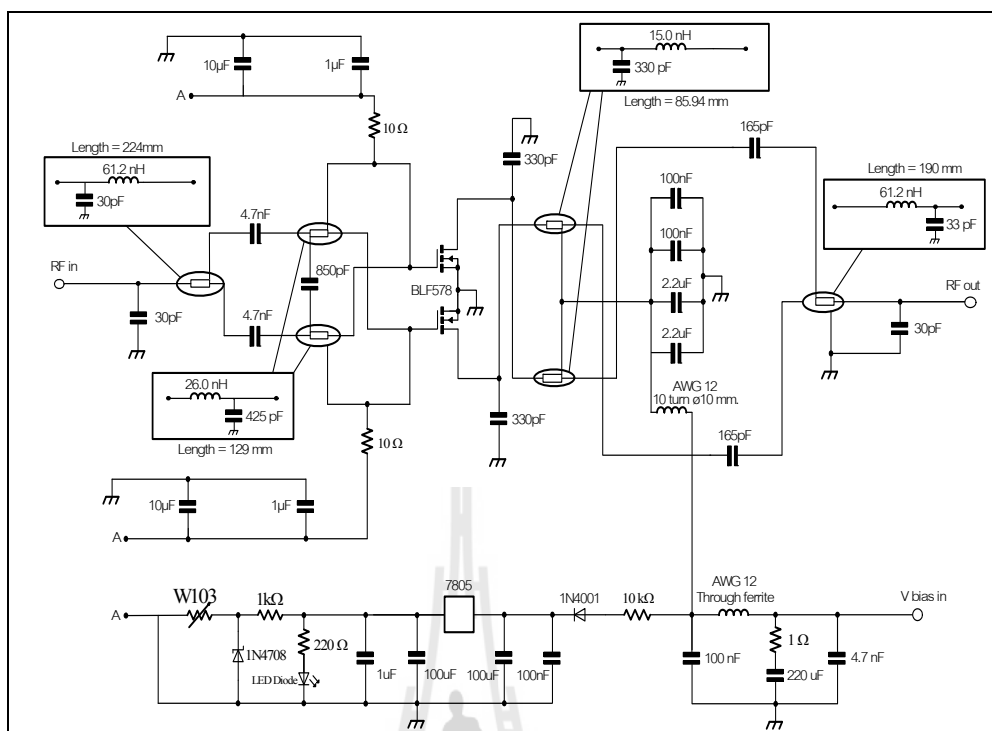
รูปที่ 3.25 วงขยายสัญญาณกำลังส่งสูงย่านความถี่วิทยุด้านเอาต์พุต

โดยสามารถอธิบายอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงค่าต่าง ๆ ของวงจรขยายกำลังสัญญาณคลื่นวิทยุด้านเอาต์พุต

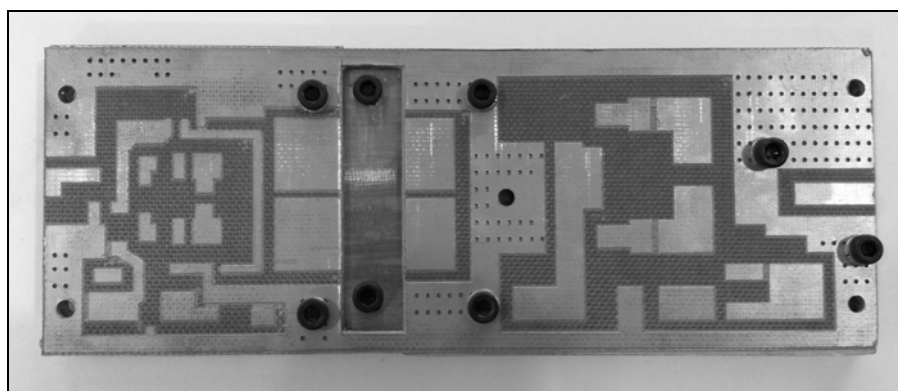
อุปกรณ์	รายละเอียด
Q2	BLF578
T3, T4	Coaxial Cable EZ-141, 85.94 mm
B2	Coaxial Cable RG402, 190 mm
C13, C14	330 pF
C15, C16	165 pF
C17, C18, C21	100 nF
C19, C20	2.2 $\mu$ F
C22	Electrolyte 220 $\mu$ F, 63V
C23	4.7 nF
C24	33 pF
L1	AWG 12 – 10Turn $\phi$ 10mm
L2	AWG 12 Through ferrite
R11	1 $\Omega$

จากการออกแบบของวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงแต่ละส่วนข้างต้นทำให้ได้ลักษณะของวงจรชุดเดียวดังรูปที่ 3.26



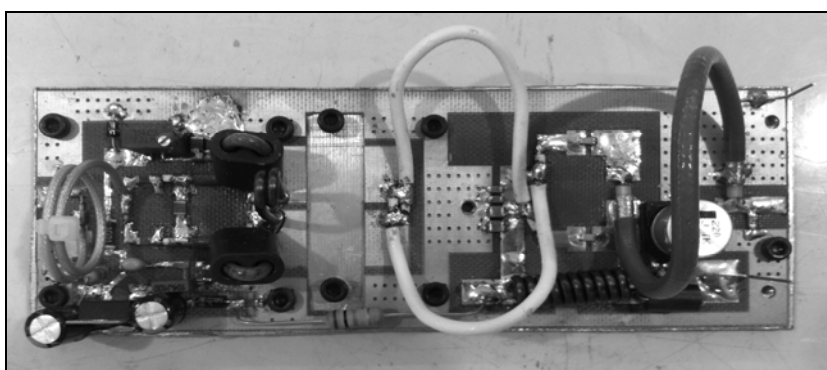
รูปที่ 3.26 วงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุ

เมื่อทราบถึงวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุและค่าต่าง ๆ ของตัวอุปกรณ์ที่จะนำมาลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ จึงได้ทำการเขียนลายบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR35 ดังแสดงในรูปที่ 3.27

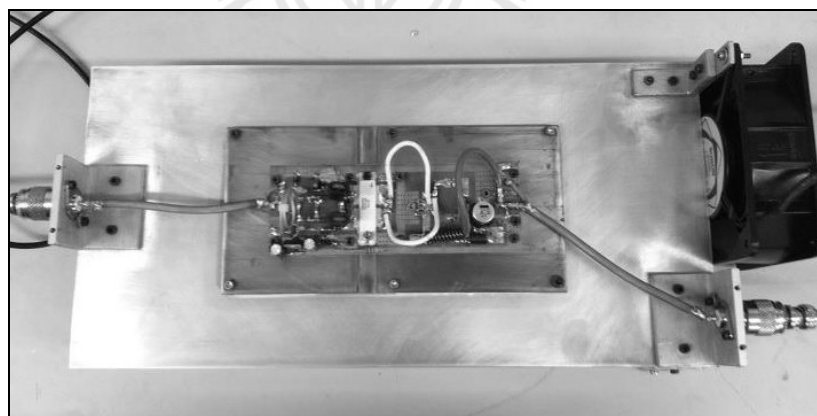


รูปที่ 3.27 แผงวงจรพิมพ์ที่พร้อมลงอุปกรณ์

สำหรับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุใช้เป็นแบบ SMD (Surface Mount Device) ซึ่งข้อดีคือตัวอุปกรณ์มีขนาดเล็ก เหมาะกับการใช้งานที่วงจรความถี่สูง เนื่องจากลดความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้าแฝงที่เกิดจากอุปกรณ์ การถอดเปลี่ยนอุปกรณ์ทำได้ง่าย และสายส่งสัญญาณ สำหรับแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์เมื่อลงอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว 2 ชุดจะแสดงดังรูปที่ 3.21 และแผงวงจร ดังกล่าวจะนำไปวางบนแผ่นระบายความร้อนแสดงดังรูปที่ 3.28

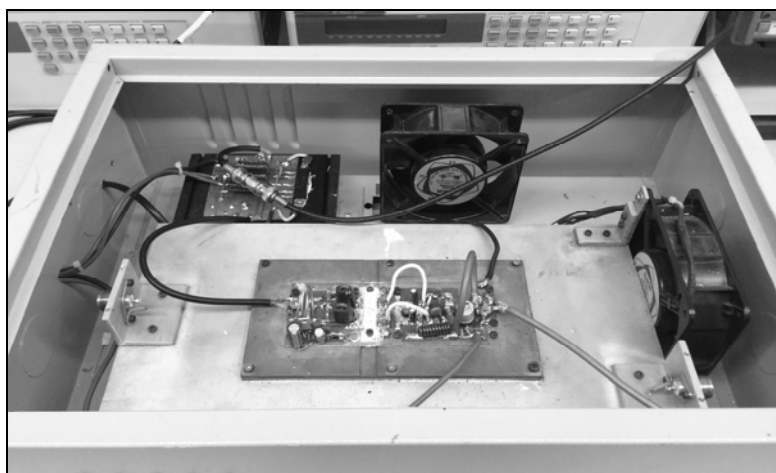


รูปที่ 3.28 แสดงแผงวงขยายสัญญาณกำลังส่งสูงย่านคลื่นวิทยุเมื่อลงอุปกรณ์สำเร็จ



รูปที่ 3.29 วงจรที่ประกอบสำเร็จพร้อมทั้งติดตั้งระบบระบายความร้อน

จากรูปที่ 3.29 แสดงวงจรที่ออกแบบและทำการลงอุปกรณ์ต่าง ๆ ระบบระบายความร้อนซึ่งเป็นเรื่องสำคัญมากเนื่องจากความร้อนที่เกิดภายในวงจรและตัวอุปกรณ์มีความร้อนที่สูงมาก นำไปติดตั้งกล่องพร้อมชุดพรีแอมป์ดังแสดงในรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 วงจรขยายสัญญาณที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

### 3.3 การออกแบบเมตซ์ซิ่งแผ่นเพลตสำหรับเครื่องให้ความร้อนแก๊ไดอิเล็กตริก

การออกแบบแผ่นเพลตสำหรับเครื่องให้ความร้อนแก๊ไดอิเล็กตริก ซึ่งใช้การเมตซ์ซิ่ง RLC เรโซแนนซ์แบบอนุกรม แผ่นเพลตเป็นแผ่นทองแดงโดยขนาดของแผ่นเพลตที่ใช้ในการทดลองนี้ มีความกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร และระยะระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร จึงทำการคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเพลตสองเพลตและค่าความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในวงจรเพื่อทำการเมตซ์ซิ่งดังแสดงในรูปที่ 3.31 และรูปที่ 3.32 สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ได้จากสมการที่ 2.5 ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ดังต่อไปนี้

$$C = \frac{k\epsilon A}{d}$$

$$C = \frac{4 \times 8.854 \times 10^{-12} \times (0.0025 \text{ m}^2)}{0.005 \text{ m}}$$

$$C = 17.70 \text{ pF}$$

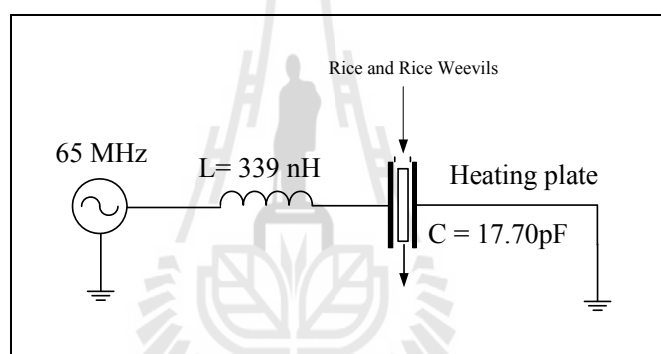
พิจารณาการออกแบบแผ่นเพลต จากการคำนวณหาค่าความจุไฟฟ้า จากสมการที่ 2.7 จากบทที่ 2 ซึ่งจะเป็นสูตรที่ทำการหาเมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์ สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

ที่ความถี่เท่ากับ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ และแผ่นเพดที่มีค่าความประจุไฟฟ้าเท่ากับ 17.70 pF ลำดับต่อมาทำการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำภายในวงจร

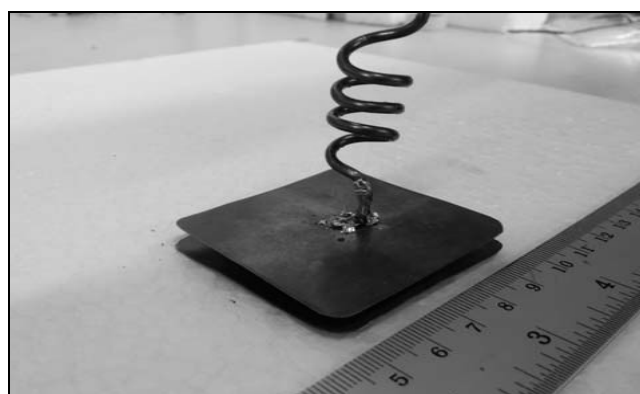
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$65\text{MHz} = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L)(17.70\text{pF})}}$$

$$L = 339 \text{ nH} = 0.339 \mu\text{H}$$



รูปที่ 3.31 แสดงการคำนวณค่าตัวอุปกรณ์ที่ทำการแมตซ์ซิ่งแผ่นเพดสำหรับการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก



รูปที่ 3.32 แผ่นเพดที่ใช้ในการทดลองจริง



การพิจารณาตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก เนื่องจากเป็นส่วนที่กระจายพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าสู่วัสดุไดอิเล็กตริกคั้งที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาถึงขนาดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เป็นลักษณะตัวปล่อยคลื่นที่มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีการปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตโดยผ่านวัสดุตัวกลางที่มีการสูญเสียหรือวัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพต่อการให้ความร้อนมากที่สุด

### 3.3.1 การวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก

การพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสียหรือวัสดุไดอิเล็กตริก โดยสามารถพิจารณาการคำนวณหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของวัสดุไดอิเล็กตริก วัสดุไดอิเล็กตริกจะแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ย่านความถี่วิทยุและไมโครเวฟให้เป็นพลังงานความร้อน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการทำอันตรกิริยากันระหว่างพลังงานและตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นไดอิเล็กตริกที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วและสามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้ โดยพลังงานที่เกิดขึ้นในวัสดุไดอิเล็กตริกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.3 ในบทที่ 2 คือ  $P = \rho c \frac{\Delta T}{\Delta t}$

เมื่อทราบถึงพลังงานที่เกิดขึ้นภายในวัสดุไดอิเล็กตริก จึงสามารถนำมาสู่การคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าภายในที่ต้องใช้เพื่อทำให้เกิดความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริก โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 ในบทที่ 2 โดยทำการจัดรูปใหม่จะได้  $E = \sqrt{\frac{P}{5.563 \times 10^{-11} f \epsilon}}$

### 3.3.2 การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นในไดอิเล็กตริก

เพื่อให้ทราบถึงขนาดของพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมและเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานงานมากที่สุด จึงได้มีการคำนวณหาอัตราการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งใช้มอดข้าวเป็นไดอิเล็กตริกตัวอย่าง ในการให้ความร้อน โดยจากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมในบทที่ 1 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสขึ้นไป มอดจะได้รับผลกระทบและจะเริ่มตายซึ่งต้องใช้เวลาค่อนข้างนาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการให้มอดข้าวตายโดยใช้เวลา น้อยที่สุด จึงได้ทำการคำนวณให้ตัวมอดข้าวเกิดอุณหภูมิภายในตัวอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส และให้ อุณหภูมิเริ่มต้นที่อุณหภูมิเท่ากับ 25 °C โดยถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ 5 วินาที โดยที่ค่า ความร้อนจำเพาะของมอดข้าว (c) มีค่าเท่ากับ 3450 kJ/kg.°C และ ความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) มีค่าเท่ากับ 1000 kg/m<sup>3</sup> ดังนั้น จากสมการที่ 4.1 จึงสามารถคำนวณหาพลังงานที่เกิดขึ้นภายในตัวมอดข้าว (P) ได้ดังนี้

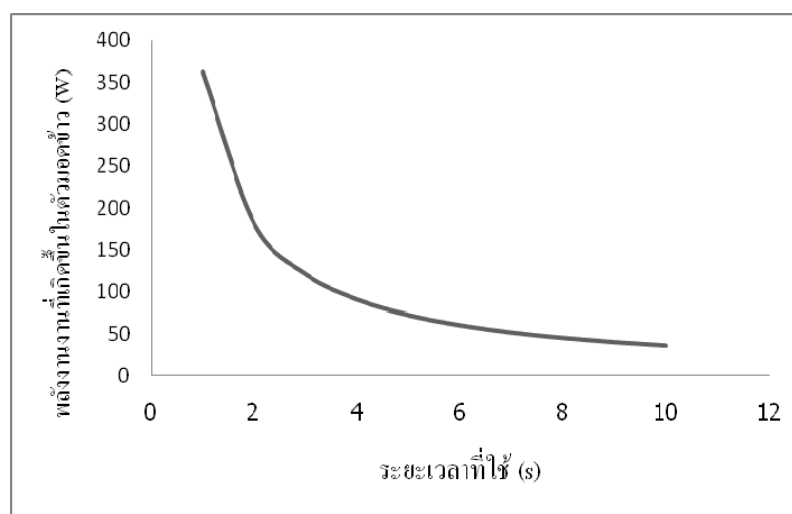
$$P = 1000(\text{kg} / \text{m}^3) \times 3.450(\text{kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C}) \frac{(60 - 25)^\circ\text{C}}{5 \text{ sec}}$$

โดยค่าที่ได้เป็นพลังงานที่ใช้ในหน่วยปริมาตรที่เป็นตารางเมตร แต่จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมมอดข้าวมีขนาดตัวโดยมาตรฐาน กว้าง 1 มิลลิเมตร ยาว 3 มิลลิเมตร และสูง 1 มิลลิเมตร ดังนั้นมอดข้าวจึงมีปริมาตรเท่ากับ  $3 (\text{mm})^3$  ดังนั้นเมื่อคำนวณหาพลังงานที่เหมาะสมกับปริมาตรของตัวมอดที่เวลา 5 วินาที จึงเท่ากับ 72.42 W และจากการคำนวณที่เวลาใด ๆ ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าความหนาแน่นของกำลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าว ณ เวลาใด ๆ

เวลา (s)	กำลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าว (W)
1	362.25
2	181.12
3	120.75
4	90.56
5	72.42
6	60.37
7	51.75
8	45.28
9	40.25
10	36.22

จากตารางที่ 3.8 แสดงการคำนวณหาอัตราพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวในเวลาตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที ซึ่งได้จากการคำนวณจากสมการที่ 2.3 ซึ่งสามารถแสดงค่าเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 3.33 ซึ่งพบว่าถ้าต้องการให้มอดข้าวตายเร็วต้องให้พลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวมากขึ้นด้วยในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้มอดข้าวตายในเวลาช้าลงทำให้ใช้พลังงานน้อยลงซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์และความเหมาะสมของงาน



รูปที่ 3.33 ความสัมพันธ์ของพลังงานที่เกิดขึ้นในต้นมอดข้าวต่อเวลา

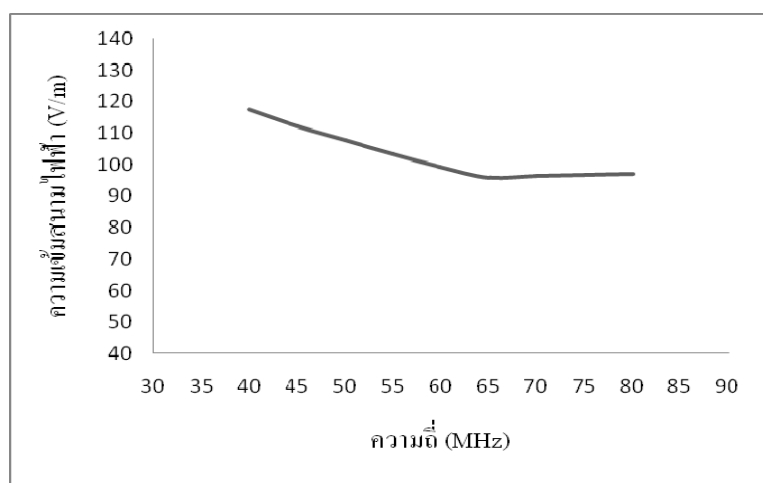
### 3.3.3 การพิจารณาพลังงานและความถี่ที่เหมาะสมต่ออัตราการเกิดความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก

โดยจากปริทศวรรณกรรมในบทที่ 2 ในงานวิจัยของ Nelson (1996) ได้นำเสนอช่วงความถี่ที่เหมาะสมและค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกของมอดข้าวไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะหาช่วงความถี่ที่ทำให้สามารถใช้พลังงานน้อยที่สุดและเหมาะสมที่สุดจากกราฟดังกล่าว โดยใช้สมการที่ (2.3) และ (2.4) ในการหาความสัมพันธ์ ซึ่งเมื่อใช้เวลา 5 วินาที ดังนั้นค่าพลังงานที่เกิดขึ้นในต้นมอดข้าว (P) เท่ากับ 72.42 วัตต์ และใช้การปรับเปลี่ยนช่วงความถี่และค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกจากรูปที่ 1.5 ทำให้สามารถคำนวณค่าได้ดังตารางที่ (4.2)

ตารางที่ 3.9 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนในตัวมอดข้าวในแต่ละช่วง  
ความถี่โดยใช้เวลา 5 วินาที

$f$ (MHz)	$\epsilon''$	$E$ (V/m)
40	2.35	117.68
45	2.30	112.15
50	2.24	107.81
55	2.22	103.25
60	2.20	99.30
65	2.18	95.84
70	2.00	96.42
75	1.85	96.83
80	1.73	96.98

ในตารางที่ 3.9 เป็นการแสดงผลการคำนวณหาค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการนำมอดข้าวของแต่ละช่วงความถี่เพื่อนำไปวิเคราะห์ถึงระดับการใช้กำลังงานที่เหมาะสมต่อความถี่ โดยได้คำนวณค่าที่ใช้ในช่วงเวลาเท่ากับ 5 วินาที พบว่าระดับพลังงานที่ใช้ต่ำที่สุดอยู่ที่ช่วงความถี่ประมาณ 65 MHz มีระดับความเข้มของสนามไฟฟ้าเท่ากับ 95.84 V/m เมื่อเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ใช้ที่ความถี่ประมาณ 39-40 MHz พบว่าต้องใช้ความเข้มของสนามไฟฟ้าถึงประมาณ 117.68 V/m เพื่อให้ง่ายต่อการดูการเปลี่ยนแปลงของแต่ละช่วง สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ เพื่อได้ดังรูปที่ 3.34 ได้ดังนี้



รูปที่ 3.34 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการให้ความร้อนในตัวมอดข้าวในแต่ละช่วงความถี่ โดยใช้เวลา 5 วินาที

จากความสัมพันธ์ข้างต้นผู้วิจัยจึงใช้ความถี่ 65 เมกะเฮิรตซ์และใช้ค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก เท่ากับ 2.18 (Nelson., 1996) ในการคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ในช่วงเวลา 1 วินาที ถึง 10 วินาที โดยจากสมการที่ 2.4 สามารถคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ที่เวลาต่าง ๆ แสดงได้ดังนี้

ที่ อุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส พลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวเท่ากับ 181.12 W และที่เวลา 5 วินาที สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E = \sqrt{\frac{72.42}{5.563 \times 10^{-11} \times 65 \times 10^6 \times 2.18}}$$

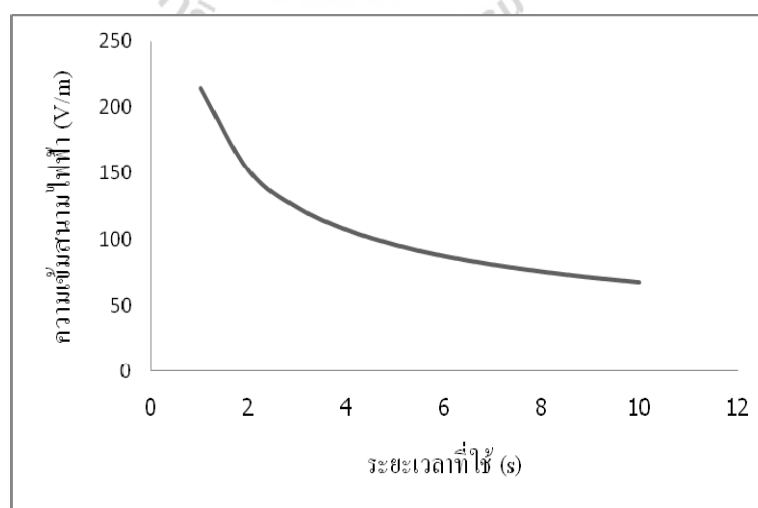
$$E = 95.84 \text{ (V/m)}$$

เมื่อคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมกับปริมาตรของตัวมอดที่เวลา 5 วินาที จึงได้เท่ากับ 95.84 V/m และจากการคำนวณที่เวลาใด ๆ ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ค่าความความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เวลาใด ๆ

เวลา (s)	กำลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าว (W)	ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)
1	362.25	214.37
2	181.12	151.61
3	120.75	123.76
4	90.56	107.18
5	72.42	95.84
6	60.37	87.51
7	51.75	81.02
8	45.28	75.79
9	40.25	71.45
10	36.22	67.78

จากตารางที่ 3.10 แสดงการคำนวณหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและทำให้ตัวมอดข้าวเกิดความร้อน ในเวลาตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที ซึ่งได้จากการคำนวณจากสมการที่ (2.4) โดยระยะเวลาที่ต้องการพิจารณาในการฆ่ามอดข้าวในงานวิจัยนี้ ซึ่งสามารถแสดงค่าเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 ความสัมพันธ์ของความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการฆ่ามอดข้าวต่อเวลา

จากรูปที่ 3.35 แสดงให้เห็นว่า เมื่อต้องการให้หม้อข้าวตายเร็วต้องให้ความเข้มสนามไฟฟ้ามากขึ้นด้วยในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้หม้อข้าวตายในเวลาช้าลงต้องใช้ความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยลงด้วย

### 3.3.4 การวิเคราะห์กำลังงานของเครื่องสำหรับการให้ความร้อนแก่อิเล็กทริก

เมื่อทราบถึงความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดความร้อนในตัวหม้อข้าวที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นและทำให้ในตัวหม้อข้าวเกิดความร้อนตายเพื่อให้ง่ายต่อการทดลองและเก็บผลการทดลองจึงทำการคำนวณกำลังงานที่ต้องใช้ให้อยู่ในรูปของกำลังงานของเครื่อง โดยพิจารณาจากโหลดที่ทำการแมตซ์ซึ่งเป็นวงจร RLC เรโซแนนซ์แบบอนุกรมดังแสดงในรูปที่ 2.5 เริ่มทำการคำนวณหาแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างแผ่นเพลตภายในวงจรเรโซแนนซ์ได้จาก  $V_c = IX_c$  โดย  $X_c = 1/2\pi fC$  และแผ่นเพลตที่ทำการออกแบบมีค่าความจุไฟฟ้า (C) เท่ากับ 17.70 pF ดังนั้นจะได้

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi(65\text{MHz})(17.70\text{pF})}$$

$$X_c = 138.44 \ \Omega$$

ต่อจากนั้นทำการคำนวณหาแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างแผ่นเพลตจากสมการที่ 2.6 คือ  $E = V/d$  โดยค่าความเข้มสนามไฟฟ้า (E) จากการคำนวณดังตารางที่ 3.9 ยกตัวอย่างที่เวลา 5 วินาทีที่มีค่าเท่ากับ 95.84 โวลต์ต่อเมตร จะได้

$$V_c = Ed$$

$$V_c = 95.84 \times 5$$

$$V_c = 479.20 \text{ V}$$

ต่อมาทำการคำนวณกระแสไฟ (I) ภายในวงจร RLC เรโซแนนซ์แบบอนุกรมที่ระยะเวลา 5 วินาทีโดย  $V_c = 479.20$  โวลต์ และ  $X_c = 138.33$  โอห์ม จากการคำนวณข้างต้นจะได้

$$I = \frac{V_c}{X_c}$$

$$I = \frac{479.20}{138.44}$$

$$I = 3.46 \text{ A}$$

ต่อมาทำการคำนวณหา กำลังงานเอาต์พุตของแหล่งจ่ายได้จาก  $P = IV$  ที่ระยะเวลา 5 วินาที โดยที่แรงดันจากพาวเวอร์ซัพพลาย (V) เท่ากับ 48 โวลต์ และกระแสไฟภายในวงจรเท่ากับ 3.46 แอมป์ จะได้

$$P = IV$$

$$P = (3.46A) \times (48V)$$

ดังนั้น  $P = 166.14 \text{ W}$

เมื่อคำนวณหา กำลังงานของแหล่งจ่ายที่เหมาะสมกับปริมาตรของมอดข้าวที่เวลา 5 วินาที ได้เท่ากับ 166.14 วัตต์ และจากการคำนวณที่เวลาใด ๆ ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 แสดงผลการคำนวณแรงดันตกคร่อม กระแสภายในวงจรและกำลังงานของแหล่งจ่ายที่ เวลาใด ๆ

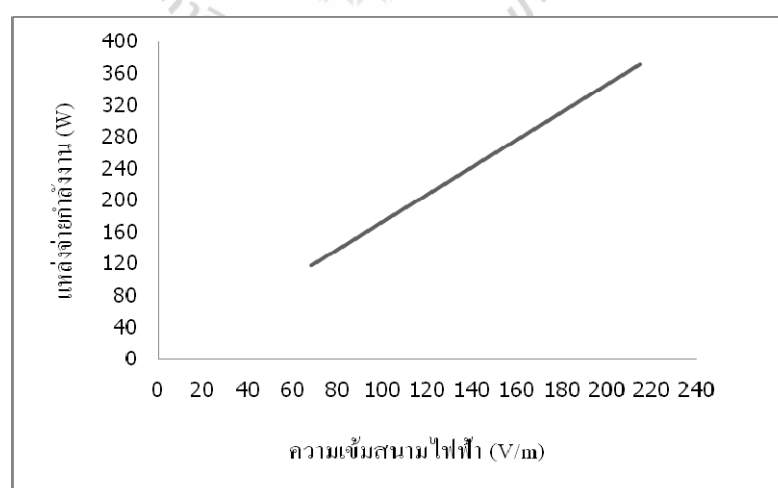
เวลา (t)	ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)	แรงดันตกคร่อมแผ่นเพลท (V)	กระแสภายในวงจรเรโซแนนซ์ (A)	กำลังงานของแหล่งจ่าย (W)
1	214.37	1071.85	7.74	371.63
2	151.61	758.05	5.47	262.83
3	123.76	618.80	4.46	214.55
4	107.18	535.90	3.87	185.80



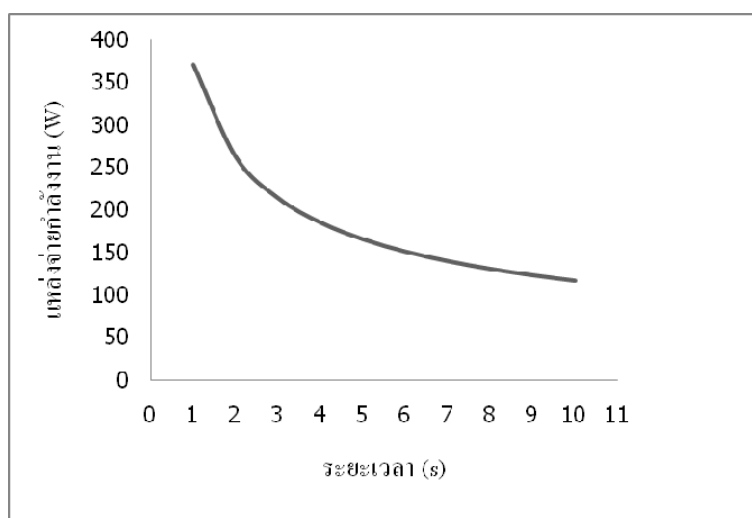
ตารางที่ 3.11 แสดงผลการคำนวณแรงดันตกคร่อม กระแสภายในวงจรและกำลังงานของ แหล่งจ่าย ที่เวลาใด ๆ (ต่อ)

เวลา (t)	ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)	แรงดันตกคร่อมแผ่นเพลท (V)	กระแสภายในวงจรเรโซแนนซ์ (A)	กำลังงานของแหล่งจ่าย (W)
5	95.84	479.20	3.46	166.14
6	87.51	437.55	3.16	151.70
7	81.02	405.10	2.92	140.45
8	75.79	378.95	2.73	131.38
9	71.45	357.25	2.58	123.86
10	67.78	338.90	2.44	117.50

จากตารางที่ 3.11 แสดงการคำนวณหาค่าแรงดันตกคร่อมระหว่างแผ่นเพลท กระแสภายในวงจร RLC เรโซแนนซ์และกำลังงานของแหล่งจ่าย ในเวลาตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที โดยระยะเวลาที่ต้องการพิจารณาในการนำมอดข้าวในงานวิจัยนี้ ซึ่งสามารถแสดงค่าเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 3.36 จะพบว่าเมื่อเพิ่มกำลังงานของแหล่งจ่าย ความเข้มสนามไฟฟ้าก็จะมากขึ้นตามด้วย



รูปที่ 3.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายกำลังงานกับความเข้มสนามไฟฟ้า



รูปที่ 3.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายกำลังกับระยะเวลา

จากรูปที่ 3.37 จากการคำนวณ พบว่ามอดข้าวตายที่เวลา 1 วินาทีต้องใช้กำลังงานจากแหล่งจ่าย 371.63 วัตต์ มอดข้าวตาย ที่ 5 วินาทีต้องใช้กำลังงานจากแหล่งจ่าย 166.14 วัตต์ มอดข้าวตายที่ 10 วินาทีต้องใช้กำลังงานจากแหล่งจ่าย 117.50 วัตต์ เป็นต้น

### 3.4 สรุป

การให้ความร้อนแก่อิเล็กทรอนิกส์สำคัญคือต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานของวงจร ระบบ และโครงสร้างของอุปกรณ์ที่นำมาออกแบบและสร้าง ประกอบไปด้วย ภาควงจรขยายกำลัง สัญญาณออกแบบด้วยมอสเฟต เบอร์ BLF578 เป็นคลาสเอบีแบบพุชพูล โดยจะมีการพิจารณาถึง อิมพีแดนซ์ด้านเข้าและด้านออกและกำลังด้านเข้าและด้านออก สำหรับภาคเอาต์พุตที่เป็นแผ่นเพลต โดยการออกแบบแผ่นเพลตสำหรับการให้ความร้อนของเครื่องให้ความร้อนแก่อิเล็กทรอนิกส์อัน ค่ลิ้นความถี่วิทยุ พิจารณาการใช้แผ่นเพลตที่เป็นแผ่นทองแดงที่สามารถเกิดการกระจายตัวของ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีที่สุดและเหมาะสมกับงานมากที่สุดและพิจารณาการเรโซแนนซ์ของภาค วงจรซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญเพื่อให้กำลังงานส่งผ่านไปยังโหลดที่เป็นแผ่นเพลตได้มากที่สุด

## บทที่ 4

### การวัดและผลการทดลอง

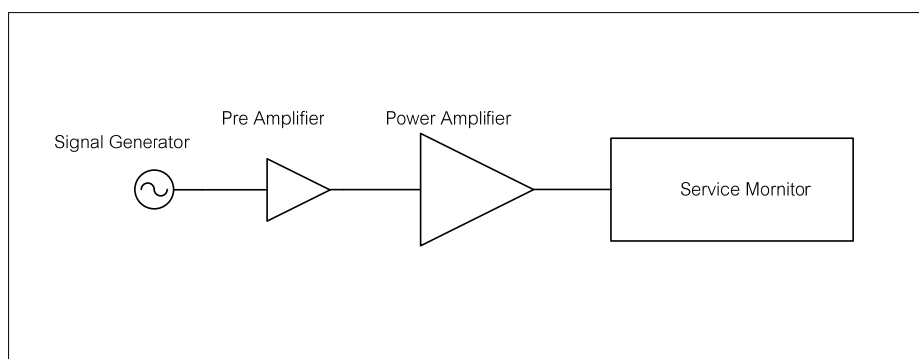
#### 4.1 กล่าวนำ

จากการกล่าวถึงการออกแบบวงจรเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกในบทที่ผ่านมา โดยการใช้ทฤษฎีในการวิเคราะห์และออกแบบ สำหรับในบทนี้จึงกล่าวถึงการทดลองและผลการทดสอบสำหรับเครื่องให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกที่ได้ออกแบบเพื่อยืนยันการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้ โดยประกอบด้วยการวัดผลสองส่วนหลัก คือ วงจรขยายสัญญาณกำลังสูงโดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum Analyzer) และเครื่อง (Service Monitor) ในการวัดทดสอบ ในการทดลองวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณย่านคลื่นความถี่วิทยุนี้ ทำการทดลองที่ค่าความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ และทำการวัดกำลังของสัญญาณอินพุต กำลังของสัญญาณเอาต์พุต นำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราขยายและประสิทธิภาพการทำงานของวงจร และทดสอบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก ซึ่งไดอิเล็กตริกที่ใช้อ้างอิงในการทดลองและเก็บผลการทดลองคือมอดข้าว

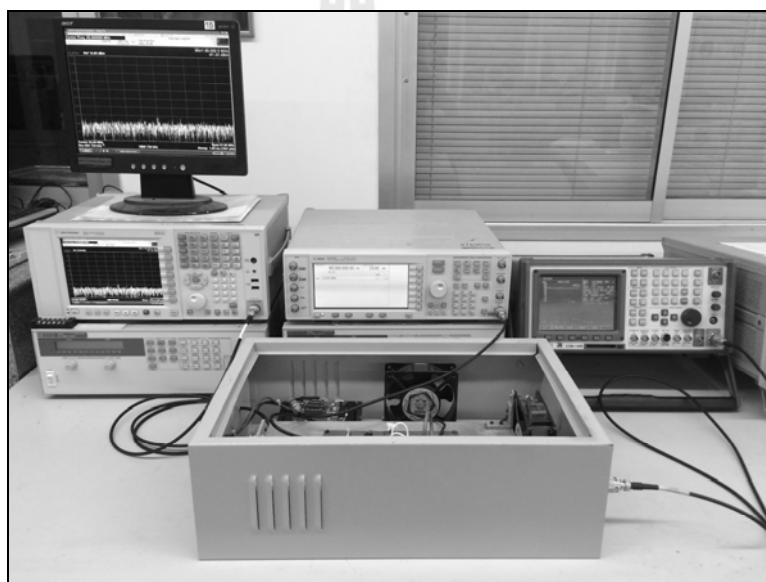
#### 4.2 การวัดและเก็บผลการทดลองวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุ สำหรับเครื่องให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก

##### 4.2.1 วงจรขยายสัญญาณกำลังสูงย่านความถี่วิทยุ

ลักษณะวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงรับสัญญาณอินพุตจากวงจรขับกำลังสัญญาณ และใช้แรงดันไฟฟ้าขาเดรนเท่ากับ 48 โวลต์และแรงดันที่ขาเกตเท่ากับ 1.2-1.5 โวลต์ สำหรับภาควงจรนี้ได้ทดลองวัดผลวงจรขยายสัญญาณกำลังสูง ซึ่งได้วัดสัญญาณอินพุต สัญญาณเอาต์พุต กำลังสัญญาณอินพุต กำลังสัญญาณเอาต์พุต และนำผลที่ได้คำนวณค่าอัตราขยายและประสิทธิภาพของวงจรขยายสัญญาณกำลังสูง ในรูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงลักษณะการทดลองวงจร ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ (Signal Generator MACRONI 2032) เครื่อง Service Monitor วงจรขับกำลังสัญญาณ และวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงและในรูปที่ 4.2 แสดงการวัดผลวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงโดยลักษณะจะเป็นดังนี้ ในส่วนแรกเป็นเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่จ่ายสัญญาณอินพุต ให้กับวงจรขับกำลังสัญญาณจากนั้นเอาต์พุตที่ได้จากวงจรขับกำลังสัญญาณจะเป็นอินพุตให้กับวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงและเชื่อมต่อเอาต์พุตกับเครื่อง Service Monitor สำหรับแสดงผลการทดลอง

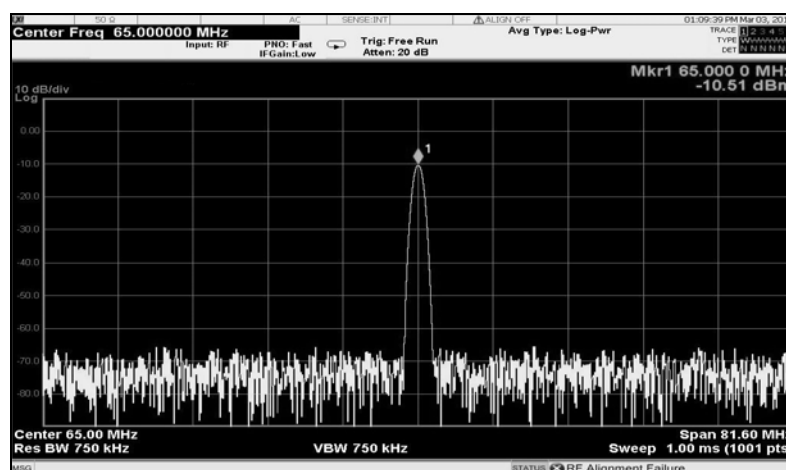


รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงลักษณะการทดลองวงจรขยายสัญญาณกำลังสูง

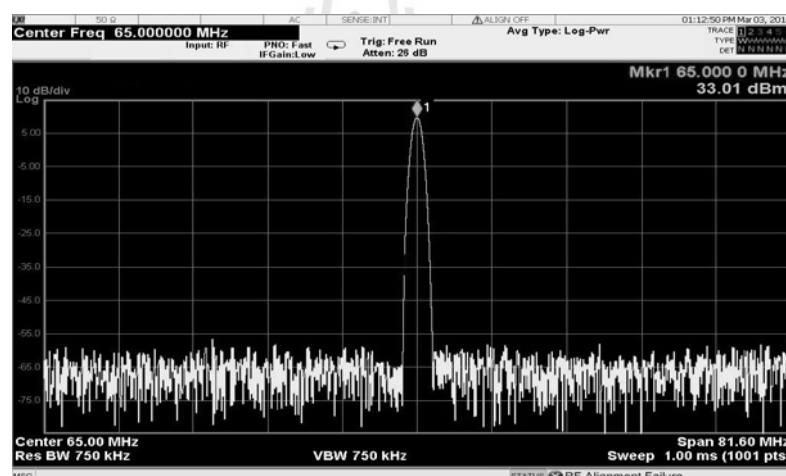


รูปที่ 4.2 แสดงการวัดผลการทดลองวงจรขยายสัญญาณกำลังสูง

ในขั้นตอนแรกสำหรับทดสอบวงจรขยายสัญญาณ จะทำการทดสอบวงจรขยายสัญญาณที่กำลังวัตต์ต่ำเพื่อทำการทดสอบความถี่ของวงจรขยายว่าสามารถทำการขยายสัญญาณได้ดี ที่ความถี่ที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยเริ่มทำการจ่ายสัญญาณอินพุตเข้า ทำการวัดสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัมด้วยการใช้โพรบจี้มวัดสัญญาณของวงจรซึ่งผลที่ได้แสดง ดังรูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณอินพุต และ 4.4 แสดงสัญญาณเอาต์พุต

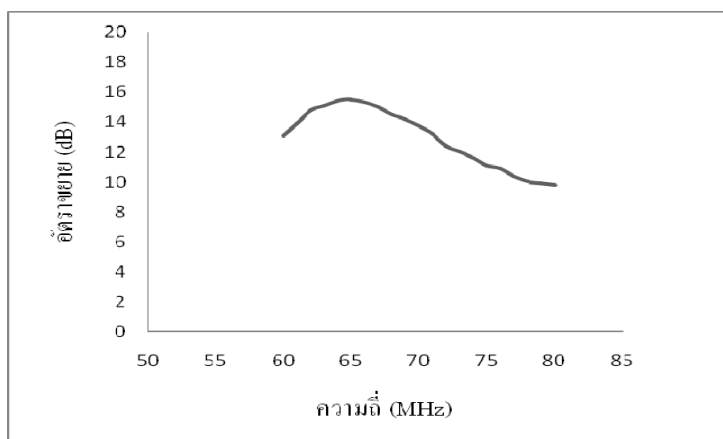


รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณอินพุตของวงจรถายสัญญาณ



รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของวงจรถายสัญญาณ

ต่อมาทำการทดสอบย่านความถี่ของวงจรถายสัญญาณ โดยทดสอบที่กำลังอินพุต 0.5 วัตต์ แล้วใช้เครื่อง Service Monitor ในการวัดสัญญาณเอาต์พุต ทำการเปลี่ยนความถี่ไปเรื่อย ๆ เพื่อหาความถี่ที่วงจรถายสัญญาณทำงานได้ดีที่สุด จากรูปที่ 4.5 จะแสดงค่าอัตราขยายของวงจรถายที่ออกแบบเทียบกับความถี่ตั้งแต่ 60 – 80 เมกกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งพบว่า ความถี่ที่ออกแบบไว้คือความถี่ 65 เมกกะเฮิร์ตซ์อยู่ในย่านที่มีอัตราการขยายที่สูง อยู่ที่ประมาณ 15.51 dB ที่ความถี่ 65 เมกกะเฮิร์ตซ์ ดังนั้นจากการทดสอบที่วัดค่าสามารถแสดงให้เห็นว่าวงจรถายที่ออกแบบนี้สามารถใช้งานได้ดีในย่านความถี่ 65 เมกกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบอัตราขยายสัญญาณช่วงความถี่ 60 - 80 เมกกะเฮิรตซ์ที่กำลังงานต่ำ

ลำดับต่อมาทำการทดสอบวงจรมหาสัญญาณโดยทำการเพิ่มกำลังงานสัญญาณอินพุตไปเรื่อย ๆ เทียบกำลังงานสัญญาณเอาต์พุต โดยจะทำการทดสอบวงจรมหาแล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตราขยายและค่าประสิทธิภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าจากการทดลองวงจรมหาสัญญาณที่ความถี่ 65 เมกกะเฮิรตซ์

OSC (dBm)	$P_{in}$ (W)	$V_s$ (V)	$I_s$ (A)	$P_{out}$ (W)
-10	0.19	48	0.89	2
-9	0.22	48	1.13	5
-8	0.38	48	1.54	9
-7	0.51	48	1.79	15
-6	0.77	48	2.02	24
-5	1.01	48	2.55	36
-4	1.15	48	2.78	42
-3	1.37	48	2.97	51
-2	1.77	48	3.98	74
-1	2.02	48	4.58	93
0	2.35	48	5.12	112
1	2.96	48	5.50	128
2	3.42	48	6.77	164

ตารางที่ 4.1 ค่าจากการทดลองวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ (ต่อ)

OSC (dBm)	$P_{in}$ (W)	$V_s$ (V)	$I_s$ (A)	$P_{out}$ (W)
3	3.88	48	7.22	185
4	4.25	48	7.81	206
5	4.78	48	8.25	228
6	5.14	48	9.05	254
7	6.19	48	10.54	302
8	7.04	48	11.84	340
9	8.2	48	13.20	385
10	9.3	48	14.30	420

จากตารางที่ 4.1 สามารถนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาค่ากำลังของสัญญาณอินพุต (dBm) กำลังของสัญญาณเอาต์พุต (dBm) อัตราขยายและประสิทธิภาพของวงจรได้ด้วยสมการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งจะได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

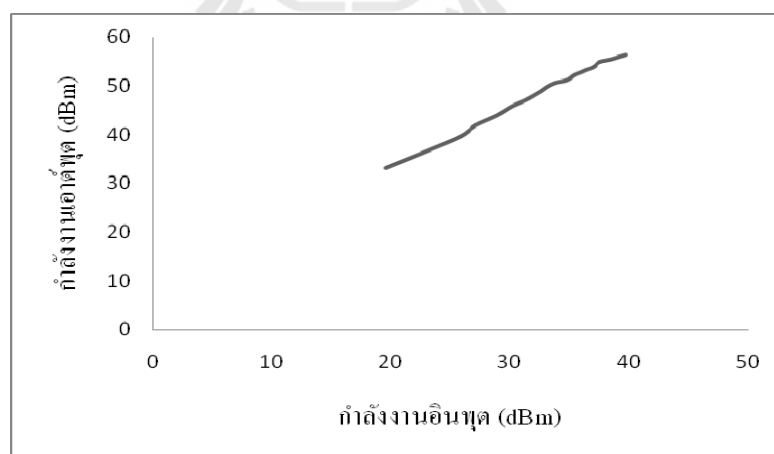
ตารางที่ 4.2 ค่าที่ได้จากการคำนวณของวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์

OSC (dBm)	$P_{in}$ (dBm)	$P_{out}$ (dBm)	Gain (dB)	Efficiency (%)
-10	19.54	33.01	10.22	04.63
-9	23.42	36.98	13.56	09.21
-8	25.79	39.54	13.74	12.02
-7	27.07	41.76	14.68	17.24
-6	28.86	43.80	14.93	24.48
-5	30.04	45.56	15.51	29.14
-4	30.60	46.23	15.62	31.19
-3	31.36	47.07	15.70	35.46
-2	32.48	48.69	16.21	38.47
-1	33.05	49.68	16.63	42.03
0	33.71	50.49	16.78	45.30
1	34.71	51.07	16.77	48.21

ตารางที่ 4.2 ค่าที่ได้จากการคำนวณของวงจรถยายสัญญาณที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ (ต่อ)

OSC (dBm)	$P_{in}$ (dBm)	$P_{out}$ (dBm)	Gain (dB)	Efficiency (%)
2	35.34	52.14	16.80	50.23
3	35.88	52.67	16.78	53.14
4	36.28	53.13	16.85	54.71
5	36.79	53.57	16.78	57.34
6	37.10	54.04	16.93	58.25
7	37.47	54.80	16.88	59.49
8	38.47	55.34	16.83	59.67
9	39.13	55.85	16.71	60.62
10	39.68	56.23	16.54	61.05

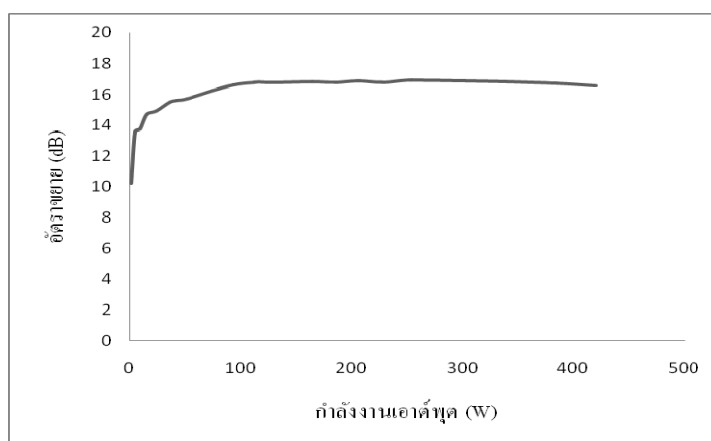
และจากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 จะสามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ได้ดังนี้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณเอาต์พุต ( $P_{out}$ ) กับกำลังของสัญญาณอินพุต ( $P_{in}$ ) ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์

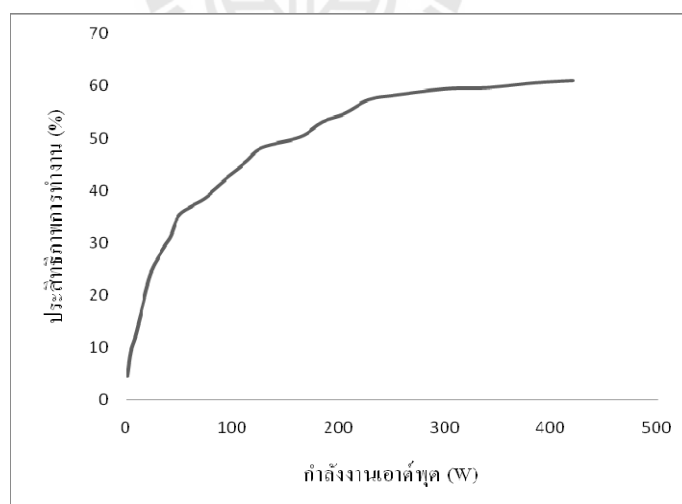
จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตให้กับวงจรมากขึ้น ค่ากำลังของสัญญาณเอาต์พุตก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย





รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย (Gain) กับกำลังของสัญญาณเอาต์พุต ( $P_{out}$ ) ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าที่ กำลังงานเอาต์พุต ช่วงประมาณ 2 - 90 วัตต์ อัตราขยาย จะไม่คงที่ แต่จะมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และอัตราขยายจะค่อนข้างคงที่เมื่อกำลังของสัญญาณ อินพุตอยู่ที่ประมาณ 100 วัตต์ โดยที่อัตราขยายเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 15 - 16 dB

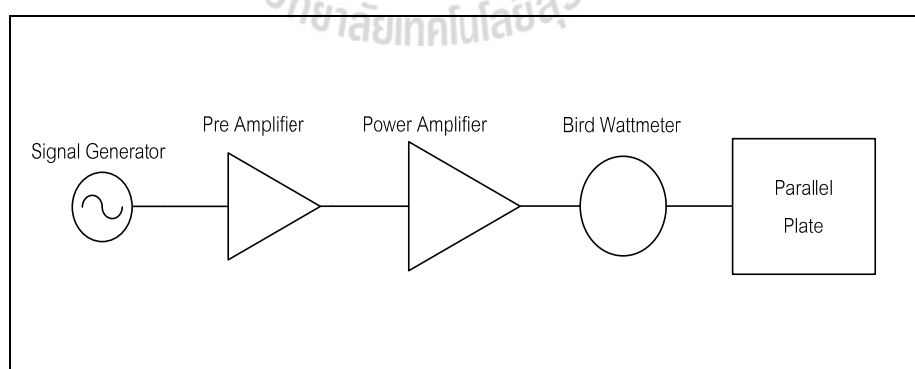


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงาน (Efficiency) กับกำลังเอาต์พุต ( $P_{out}$ ) ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเมื่อกำลังงานเอาต์พุตมากขึ้น ค่าประสิทธิภาพการทำงานของวงจรก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยที่ กำลังงานเอาต์พุตและค่าประสิทธิภาพการทำงานของวงจรจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นช่วงที่เริ่มทำงานและเริ่มนิ่งเมื่อถึงจุดทำงานของวงจร ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 61.05 เปอร์เซ็นต์ โดยประสิทธิภาพของคลาสเอบีพหุคูณจะอยู่ระหว่างประสิทธิภาพของคลาสเอและคลาสบี คืออยู่ระหว่าง 50 - 78.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประสิทธิภาพของวงจรขยายสัญญาณที่ทำการออกแบบนี้มีประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์อยู่ในเกณฑ์ที่ดี (Cripps Steve C., 1999)

#### 4.3 การวัดและเก็บผลการให้ความร้อนแก่วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ด้วยแผ่นเพลต

สำหรับการวัดผลการให้ความร้อนแก่วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ด้วยแผ่นเพลตซึ่งจะให้ความร้อนกับมอดูล ข้าว โดยมีการเตรียมอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 4.9 แสดงบล็อกไดอะแกรมลักษณะการวัดผลการให้ความร้อนด้วยแผ่นเพลตและการวัดทดสอบผลดังแสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งประกอบด้วย วงจรขับกำลังสัญญาณ โดยรับสัญญาณมาจากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ จากนั้นเอาต์พุตที่ได้จากวงจรขับกำลังสัญญาณ จากนั้นส่งต่อสัญญาณไปยังภาควงจรขยายสัญญาณ และเชื่อมต่อกับภาควงจรการให้ความร้อนแบบไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ผ่านแผ่นเพลตเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยที่วงจรขยายสัญญาณกำลังสูง จะกำหนดไบอัสแรงดันไฟฟ้าขาตรงเท่ากับ 48 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าขาเกทเท่ากับ 1.2 - 1.5 โวลต์ สำหรับการทดลองการให้ความร้อนด้วยขดลวดเหนี่ยวนำนี้ ได้ทดลองที่ความถี่ 65 เมกกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้กำลังงานขนาดต่างๆดังแสดงการวัดผลดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.9 บล็อกไดอะแกรมแสดงลักษณะการวัดผลการให้ความร้อนด้วยแผ่นเพลต

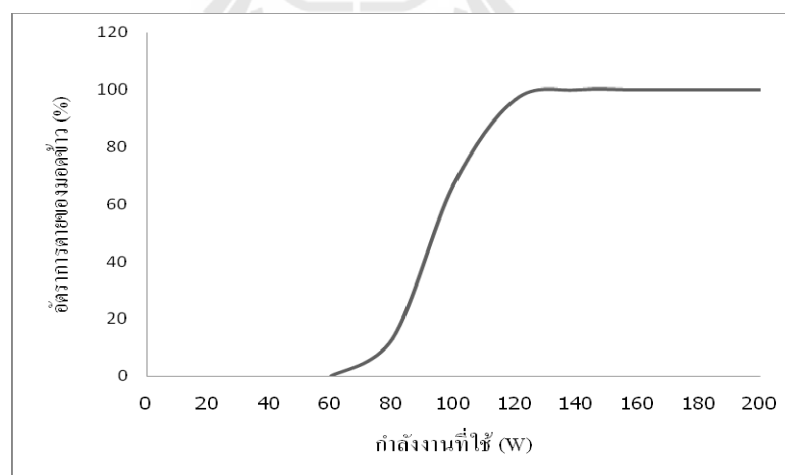


รูปที่ 4.10 การวัดผลการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กทริกกับมอดข้าว

การทดลองการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กทริกกับมอดข้าวที่ขนาดของแผ่นเพลตมีความกว้าง 5 เซนติเมตร ความยาว 5 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างเพลต 0.5 มิลลิเมตร ที่ความถี่ 65 เมกกะเฮิร์ตซ์ เทียบกับเวลาที่ใช้ 10 วินาที กำลังงานเริ่มต้น 20 วัตต์ทำการเพิ่มกำลังงานครั้งละ 20 วัตต์ไปเรื่อย ๆ จนพบกำลังงานสูงสุดที่มอดข้าวตาย 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการทดลองแต่ละครั้งจะทำการทดลองซ้ำเดิมจำนวน 3 ครั้ง และแต่ละครั้งใช้มอดข้าวจำนวน 10 ตัว ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.3 และสามารถแสดงค่าเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.3 แสดงอัตราการตายของมอดข้าวโดยใช้เวลา 10 วินาทีที่ กำลังงาน 20 - 200 วัตต์

เวลา (วินาที)	พลังงาน (วัตต์)	จำนวนมอดข้าวที่ทดลอง (ตัว)	จำนวนมอดข้าวที่ตาย (ตัว)			อัตราการตายของมอดข้าวโดยเฉลี่ย (%)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
10	20	10	0	0	0	0
10	40	10	0	2	1	0
10	60	10	0	0	0	0
10	80	10	2	1	2	13.3
10	100	10	7	5	8	66.67
10	120	10	9	9	8	93.3
10	140	10	10	10	10	100
10	160	10	10	10	10	100
10	180	10	10	10	10	100
10	200	10	10	10	10	100



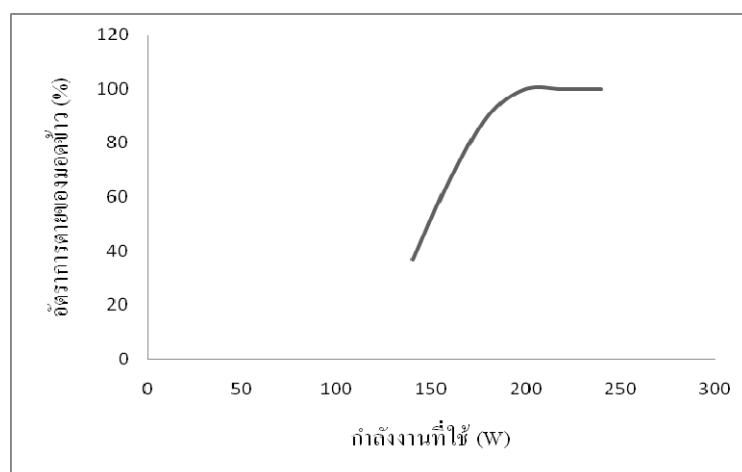
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายของมอดข้าวเทียบกับกำลังงานที่ใช้ที่เวลา 10 วินาที

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.11 พบว่าที่กำลังงานต่ำกว่า 140 วัตต์ยังมีมอดข้าวที่มีชีวิตรอดอยู่ และที่กำลังงานตั้งแต่ 140 วัตต์อัตราการตายของมอดข้าวอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเมื่อเทียบกับผลจากการคำนวณดังตารางที่ 3.10 ที่เวลา 10 วินาทีต้องใช้กำลังงาน 117.50 วัตต์

ต่อมาทำการทดลอง เทียบกับเวลาที่ใช้ 5 วินาที กำลังงานเริ่มต้นทำการอ้างอิงจากการคำนวณเนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการผลการตายของมอดข้าว 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกำลังงานจากการคำนวณคือ 166.14 วัตต์เพื่อเป็นการลดจำนวนการทดลอง ดังนั้นในการทดลองที่ใช้เวลา 5 วินาที ใช้กำลังเริ่มต้นที่ 140 วัตต์และทำการเพิ่มกำลังงานครั้งละ 20 วัตต์ไปจนพบกำลังงานสูงสุดที่มอดข้าวตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.4 และสามารถแสดงค่าเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.12 พบว่าที่กำลังงานต่ำกว่า 200 วัตต์ยังมีมอดข้าวที่มีชีวิตรอดอยู่ และที่พลังงานตั้งแต่ 200 วัตต์อัตราการตายของมอดข้าวอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.4 แสดงอัตราการตายของมอดข้าวโดยใช้เวลา 5 วินาทีที่ กำลังงาน 140 - 240 วัตต์

เวลา (วินาที)	พลังงาน (วัตต์)	จำนวนมอดข้าวที่ทดลอง (ตัว)	จำนวนมอดข้าวที่ตาย (ตัว)			อัตราการตายของมอดข้าวโดยเฉลี่ย (%)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
5	140	10	4	4	3	36.67
5	160	10	7	5	8	66.67
5	180	10	8	9	10	90.00
5	200	10	10	10	10	100
5	220	10	10	10	10	100
5	240	10	10	10	10	100

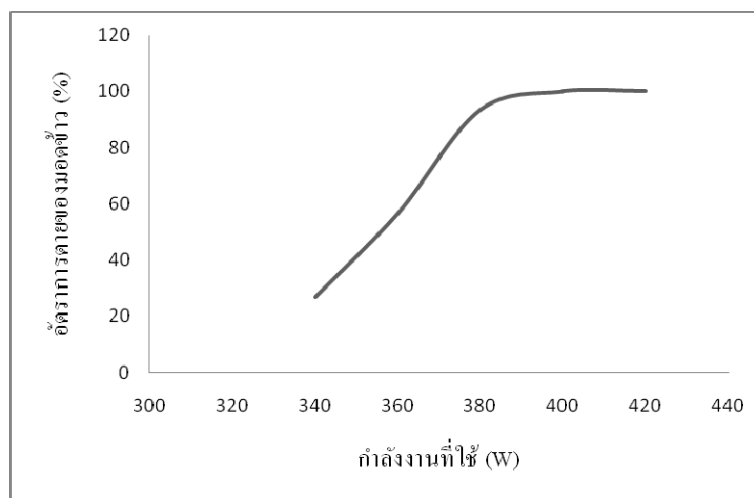


รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายของมอดข้าวเทียบกับกำลังงานที่ใช้ที่เวลา 5 วินาที

ต่อมาทำการทดลอง เทียบกับเวลาที่ใช้ 1 วินาที กำลังงานเริ่มต้นทำการอ้างอิงจากการคำนวณคือ 371.63 วัตต์ ดังนั้นในการทดลองที่ใช้เวลา 1 วินาที ใช้กำลังเริ่มต้นที่ 340 วัตต์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ แสดงดังตารางที่ 4.5 และสามารถแสดงค่าเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.13 พบว่าที่กำลังงานต่ำกว่า 200 วัตต์ยังมีมอดข้าวที่มีชีวิตอยู่ และที่พลังงานตั้งแต่ 200 วัตต์ อัตราการตายของมอดข้าวอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์

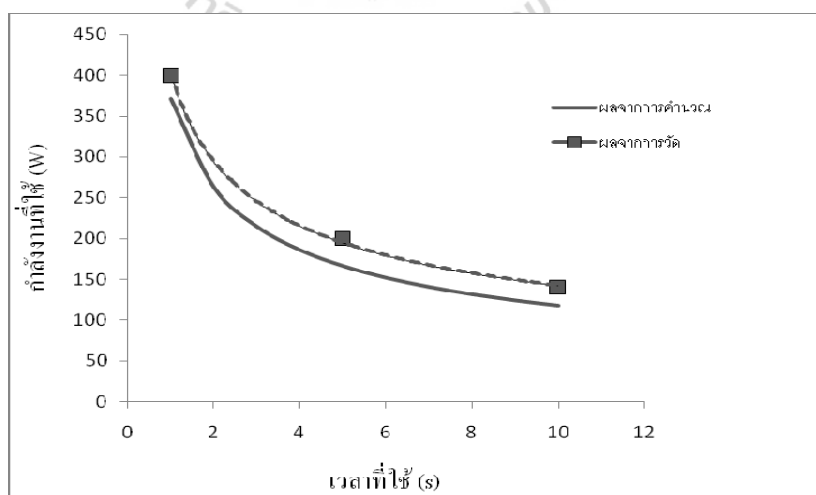
ตารางที่ 4.5 แสดงอัตราการตายของมอดข้าวโดยใช้เวลา 1 วินาทีที่ กำลังงาน 340 - 420 วัตต์

เวลา (วินาที)	พลังงาน (วัตต์)	จำนวนมอดข้าวที่ทดลอง (ตัว)	จำนวนมอดข้าวที่ตาย (ตัว)			อัตราการตายของมอดข้าวโดยเฉลี่ย (%)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	340	10	3	3	2	26.67
1	260	10	7	4	6	56.67
1	280	10	9	10	9	93.33
1	400	10	10	10	10	100
1	420	10	10	10	10	100



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายของมอดข้าวเทียบกับกำลังงานที่ใช้ที่เวลา 1 วินาที

การวัดผลการให้ความร้อนแก่วัสดุอิเล็กทรอนิกส์สำหรับฆ่ามอดข้าวที่ขนาดของแผ่นเพลตมีความกว้าง 5 เซนติเมตร ความยาว 5 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างเพลต 0.5 มิลลิเมตร ที่ความถี่ 65 เมกกะเฮิร์ตซ์ ขนาดกำลังงาน 20 - 420 วัตต์ เทียบกับเวลาที่ใช้ 1, 5 และ 10 วินาที โดยการทดลองแต่ละครั้งใช้มอดข้าวจำนวน 10 ตัว นำมาวาดกราฟแนวโน้มเพื่อเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณ ซึ่งผลที่ได้แสดงดังในรูป 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณและผลการวัดจริง

จากรูปที่ 4.14 พบว่าผลของการทดลองจริงมีแนวโน้มตามผลของการคำนวณ โดยที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 10 วินาทีต้องใช้กำลังงานมากกว่า 140 วัตต์มอดข้าวจะตาย 100 เปอร์เซ็นต์ และที่ระยะเวลา 1 วินาทีต้องใช้กำลังงานมากกว่า 400 วัตต์มอดข้าวจะตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลการทดลองจริงจะมีการใช้กำลังงานที่สูงกว่าผลจากการคำนวณเนื่องจากสามารถเกิดได้หลายปัจจัยทั้งสภาพอากาศภายนอกในขณะทดลอง กำลังงานที่สูญเสียภายในวงจร เป็นต้น

#### 4.4 สรุป

บทนี้ได้นำเสนอการวัดและผลการทดลองของวงจรขยายสัญญาณย่านความถี่วิทยุสำหรับเครื่องให้ความร้อนแก๊สไดอิเล็กตริก โดยได้วัดสัญญาณกำลังงานของภาควงจรขยายสัญญาณกำลังสูง และการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้มอดข้าวสำหรับใช้ในการทดลอง ซึ่งผลการวัดภาควงจรขยายสัญญาณกำลังสูงที่ความถี่ 65 เมกะเฮิร์ตซ์ จะมีขนาดกำลังงานประมาณ 420 วัตต์ มีอัตราขยายสัญญาณเฉลี่ยประมาณ 16.54 dB ประสิทธิภาพรวมของวงจรประมาณ 61.05 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับภาควงจรการให้ความร้อนแก๊สไดอิเล็กตริกด้วยแผ่นเพลต ที่ขนาดของแผ่นเพลตมีความกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตรและระยะห่างระหว่างเพลตเท่ากับ 5 มิลลิเมตร พบว่าถ้าต้องการให้มอดข้าวตายโดยใช้เวลาน้อยต้องให้พลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวมากขึ้นด้วย



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการวิเคราะห์ ออกแบบ ทดสอบ และเปรียบเทียบผลของการวัดผลวงจรรวมที่วิฤตสำหรับเครื่องให้ความร้อนแก๊วไดโอดีเล็คทริก การวิจัยเริ่มจากการศึกษาเนื้อหาและความสำคัญของปัญหา ตั้งแต่วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย จากนั้นศึกษาทฤษฎีของวงจรรวมที่วิฤตสำหรับการให้ความร้อนแก๊วไดโอดีเล็คทริกด้วยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ศึกษาวิเคราะห์ลักษณะของการให้ความร้อนแก๊วไดโอดีเล็คทริก ทฤษฎีวงจรรวมสัญญาณกำลังสูง ออกแบบวงจร และสร้างวงจรรวมที่วิฤตสำหรับการให้ความร้อนแก๊วไดโอดีเล็คทริก โดยจากการศึกษาลักษณะวงจรประกอบด้วย ภาควงจรรวมสัญญาณกำลังสูงและภาคสำหรับเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับตัวปล่อยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านแผ่นเพลต และในส่วนของ การทดลองและผลการทดลองจะวัดเป็นสองส่วนในส่วนแรกวัดในส่วนของ วงจรรวมสัญญาณกำลังสูงและในส่วนที่สองวัดการให้ความร้อนแก๊วตัวไดโอดีเล็คทริกโดยใช้ตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลต

จากการวัดผลวงจรรวมสัญญาณกำลังสูงที่ความถี่ 65 เมกะเฮิรตซ์พบว่ามีความถี่สูงสุดประมาณ 420 วัตต์ มีอัตราการขยายสัญญาณเฉลี่ยประมาณ 16 dB มีประสิทธิภาพรวมของวงจรรวมประมาณ 61% และสำหรับการทดสอบการให้ความร้อนแก๊วไดโอดีเล็คทริกผ่านแผ่นเพลตกับมอดข้าวที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 5 เซนติเมตร ยาวเท่ากับ 5 เซนติเมตร และระยะระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร ที่ความถี่ 65 เมกะเฮิรตซ์ ที่ได้ทำการออกแบบนั้นเป็นความถี่ที่เหมาะสม เนื่องจากการทดลองที่ความถี่ต่าง ๆ โดยใช้กำลังงาน 100 วัตต์ ระยะเวลาที่ใช้ 10 วินาทีเท่ากัน พบว่าที่ความถี่ 65 เมกะเฮิรตซ์ มีอัตราการตายของมอดข้าวสูงที่สุดคือ 67.66 เปอร์เซ็นต์ และความร้อนที่เกิดขึ้นในข้าวมีอุณหภูมิค่าที่สุดคือ 37.16 องศาเซลเซียส ต่อมาทำการทดสอบที่ความถี่ 65 เมกะเฮิรตซ์ โดยใช้กำลังงานจากวงจรรวมสัญญาณกำลังสูงขนาดตั้งแต่ 20 - 420 วัตต์ เป็นเวลา 1 - 10 วินาที ในการให้ความร้อนกับมอดข้าว ซึ่งผลที่ได้คือที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 10 วินาที ต้องใช้กำลังงานมากกว่า 140 วัตต์มอดข้าวจะตาย 100 เปอร์เซ็นต์ และที่ระยะเวลา 1 วินาทีที่ต้องใช้กำลังงานมากกว่า 400 วัตต์มอดข้าวจะตาย 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น โดยกำลังงานที่ใช้ในการทดลองจริงต้องใช้กำลังงานที่สูงกว่ากำลังงานที่ได้จากการคำนวณ เนื่องจากปัจจัยการสูญเสียต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียจากสายส่งกำลังงาน ความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวอุปกรณ์ สภาพแวดล้อมในขณะที่ทำการทดสอบเนื่องจากการทดสอบในระบบเปิด เป็นต้น

สรุปผลที่ได้จากการทดสอบวงจรขยายสัญญาณย่านคลื่นความถี่วิทยุที่ได้สร้างและออกแบบมีกำลังงาน อัตราขยาย และประสิทธิภาพที่ดีและเมื่อนำไปทดสอบการให้ความร้อนกับมอดจ้าวพบว่าสามารถทำให้มอดจ้าวตาย 100 เปอร์เซ็นต์

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

การออกแบบวงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุสำหรับเครื่องให้ความร้อนแก่อิเล็กทรอนิกส์ ในส่วนของวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงจากการทดลองจะเห็นได้ว่าปัญหาใหญ่ๆ ในการออกแบบวงจรนี้คือความร้อนของตัวทรานซิสเตอร์ การแมตซ์ซิ่งโหลดเอาต์พุต และจากการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตราขยายและประสิทธิภาพการทำงานเป็นดังที่ได้ออกแบบไว้ แต่จะเห็นว่าได้กำลังของสัญญาณเอาต์พุตประมาณ 420 วัตต์เท่านั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อทำการเพิ่มกำลังของสัญญาณอินพุตมากขึ้นเรื่อยๆ ก็จะส่งผลให้ทรานซิสเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้น และอาจจะทำให้วงจรเกิดการเสียหายได้ และการที่วงจรมีอุณหภูมิสูงนั้นอาจเนื่องมาจากจากระบบระบายความร้อนไม่สามารถระบายความร้อนได้ดีเท่าที่ควร และในส่วนของภาควงจรตัวปล่อยคลื่นการออกแบบแผ่นเพลตมีผลต่อการให้ความร้อนอย่างมาก ดังนั้นการออกแบบจึงควรคำนึงถึงความเหมาะสมกับการใช้งานเพื่อให้ได้กำลังงานที่ดีที่สุดสำหรับนำไปใช้งานต่อไป

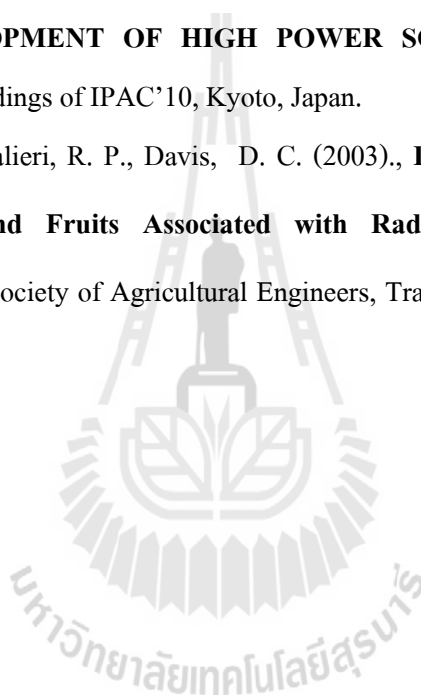
## 5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

แนวทางการพัฒนาต่อไปของวงจรขยายสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุสำหรับเครื่องให้ความร้อนแก่อิเล็กทรอนิกส์สามารถออกแบบโดยการเพิ่มส่วนของวงจรขยายสัญญาณให้มากขึ้นอีกเพื่อเพิ่มกำลังและประสิทธิภาพของวงจร และสามารถออกแบบให้วงจรมีกำลังงานสูงสำหรับนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไปได้

## รายการอ้างอิง

- ชาญชัย ทองโสภา. (2549). การออกแบบวงจรคลื่นความถี่วิทยุ. เอกสารประกอบการสอน สำนัก  
วิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- An1034., (1993). **Three Balun Designs for Push - Pull Amplifiers.**, Semiconductor Application  
Note Rev0 Motorola, Freescale Semiconductor, Inc
- Cripps Steve C., (1999)., **RF Power Amplifiers for Wireless Communications.**, Artech House,  
ISBN 0 89006 989 1
- C. Li, J. Wang, and J. Zhu, (2010). **Experiment and Theoretical Study on Thermal  
Performance of Honeycomb Ceramic Regenerative Heat Exchanger**, Power and Energy  
Engineering Conference (APPEEC) Asia-Pacific,p. 1-6
- H. Oka, S. Uchidate, N. Sekino, Y. Namizaki, K. Kubota, H. Osada, F.P. Dawson, and J.D.Lavers,  
(2011). **Electromagnetic Wave Absorption Characteristics of Half Carbonized  
Powder - Type Magnetic Wood**, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 47,p. 3078-3070
- Marijana Pražić Golić, Goran Andrić and Petar Kljajić., (2011)., **Effects of 50°C temperature  
on Sitophilus granarius (L.), Sitophilus oryzae (L.) and Sitophilus zeamais (Motsch.)**  
Pestic. Phytomed. (Belgrade), 26(3), 2011, 221–227
- Nelson, S. O. and L. E. Stetson. (1974b.). **Possibilities for controlling insects with microwaves  
and lower frequency RF energy.** *IEEE Trans. Microwave Theory Tech n.* MTT-22(12):  
1303-130.
- Nelson S O (1996). **Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for  
stored-grain insect control.** Transactions of the ASAE, 39, 1475–1484.
- Nelson, S. O. (1991)., **Dielectric properties of agricultural products Measurements and  
applications**, IEEE Trans. Elect. Insul., Vol.26, pp. 845-869.
- P.G. Koehler, W.H. Kern and J.L. Castner., (2012)., **Rice Weevil**, University of Florida, IFAS  
Extension, Revised.
- P.M. Edward and S. K. Elena., (1997).: **Aminopeptidase-Like Activity in Hemolymph Plasma  
from Larvae of the Gypsy Moth**, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) Comp  
Biochem Physiol, Vol. 116B, p. 11–18.

- S. Wang<sup>1</sup>; J. Tang<sup>1</sup>; J.A. Johnson<sup>2</sup>; E. Mitcham<sup>3</sup>; J.D. Hansen<sup>4</sup>; G. Hallman<sup>5</sup>; S.R. Drake<sup>6</sup>; Y. Wang<sup>1</sup>, (2002)., **“Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to Radio Frequency and Microwave Treatments”**, Journal of Food Engineering 57 (2003) 257–268)
- Stephen F. Adam and Hewlett., (1969)., **MICROWAVE THEORY AND APPICATIONS AN10800.**, Application note, Rev. 01,13 October 2009 **"Using the BLF578 in the 88 MHz to 108 MHz FM band.**
- Tsung-Chi Yu, Chaoen Wang, Lung-Hai Chang, Ming-Chyuan Lin, Meng-Shu Yeh., (2010)., **THE DEVELOPMENT OF HIGH POWER SOLID-STATE AMPLIFIER IN NSRRC**, Proceedings of IPAC’10, Kyoto, Japan.
- Wang, S., Tang, J., Cavalieri, R. P., Davis, D. C. (2003)., **Differential Heating of Insects in Dried Nuts and Fruits Associated with Radio Frequency and Microwave Treatments.** American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE, Vol. 46(4): 1175–1182.



ภาคผนวก ก

รายละเอียดข้อมูลทรานซิสเตอร์เบอร์ BLF578



# BLF578

## Power LDMOS transistor

Rev. 02 — 4 February 2010

Product data sheet

## 1. Product profile

### 1.1 General description

A 1200 W LDMOS power transistor for broadcast applications and industrial applications in the HF to 500 MHz band.

Table 1. Application information

Mode of operation	f (MHz)	V <sub>DS</sub> (V)	P <sub>L</sub> (W)	G <sub>p</sub> (dB)	η <sub>D</sub> (%)
CW	108	50	1000	26	75
pulsed RF	225	50	1200	24	71

#### CAUTION



This device is sensitive to ElectroStatic Discharge (ESD). Therefore care should be taken during transport and handling.

### 1.2 Features

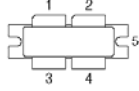
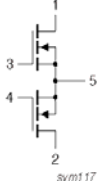
- Typical pulsed performance at frequency of 225 MHz, a supply voltage of 50 V and an I<sub>DQ</sub> of 40 mA, a t<sub>p</sub> of 100 μs with δ of 20 %:
  - ◆ Output power = 1200 W
  - ◆ Power gain = 24 dB
  - ◆ Efficiency = 71 %
- Easy power control
- Integrated ESD protection
- Excellent ruggedness
- High efficiency
- Excellent thermal stability
- Designed for broadband operation (10 MHz to 500 MHz)
- Compliant to Directive 2002/95/EC, regarding Restriction of Hazardous Substances (RoHS)

### 1.3 Applications

- Industrial, scientific and medical applications
- Broadcast transmitter applications

## 2. Pinning information

Table 2. Pinning

Pin	Description	Simplified outline	Graphic symbol
1	drain1		
2	drain2		
3	gate1		
4	gate2		
5	source		

[1] Connected to flange.

## 3. Ordering information

Table 3. Ordering information

Type number	Package		Version
	Name	Description	
BLF578	-	flanged balanced LDMOST ceramic package; 2 mounting holes; 4 leads	SOT539A

## 4. Limiting values

Table 4. Limiting values

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134).

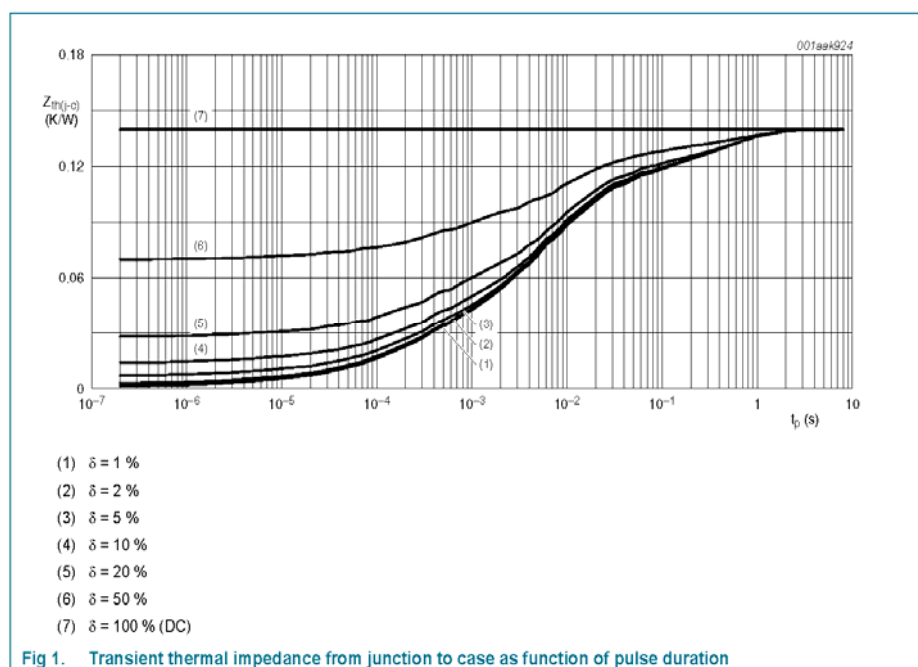
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Max	Unit
$V_{DS}$	drain-source voltage		-	110	V
$V_{GS}$	gate-source voltage		-0.5	+11	V
$I_D$	drain current		-	88	A
$T_{stg}$	storage temperature		-65	+150	°C
$T_j$	junction temperature		-	225	°C

## 5. Thermal characteristics

Table 5. Thermal characteristics

Symbol	Parameter	Conditions	Typ	Unit
$R_{th(j-c)}$	thermal resistance from junction to case	$T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	0.14	K/W
$Z_{th(j-c)}$	transient thermal impedance from junction to case	$T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}; t_p = 100\text{ }\mu\text{s}; \delta = 20\%$	0.04	K/W

- [1]  $T_j$  is the junction temperature.  
 [2]  $R_{th(j-c)}$  is measured under RF conditions.  
 [3] See [Figure 1](#).



## 6. Characteristics

Table 6. DC characteristics

$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ; per section unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$V_{(BR)DSS}$	drain-source breakdown voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}; I_D = 2.5\text{ mA}$	110	-	-	V
$V_{GS(th)}$	gate-source threshold voltage	$V_{DS} = 10\text{ V}; I_D = 500\text{ mA}$	1.25	1.7	2.25	V
$V_{GSq}$	gate-source quiescent voltage	$V_{DS} = 50\text{ V}; I_D = 20\text{ mA}$	0.8	1.3	1.8	V
$I_{DSS}$	drain leakage current	$V_{GS} = 0\text{ V}; V_{DS} = 50\text{ V}$	-	-	2.8	$\mu\text{A}$



Table 6. DC characteristics ...continued

 $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ; per section unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$I_{DSX}$	drain cut-off current	$V_{GS} = V_{GS(th)} + 3.75\text{ V}$ ; $V_{DS} = 10\text{ V}$	58	70	-	A
$I_{GSS}$	gate leakage current	$V_{GS} = 11\text{ V}$ ; $V_{DS} = 0\text{ V}$	-	-	280	nA
$R_{DS(on)}$	drain-source on-state resistance	$V_{GS} = V_{GS(th)} + 3.75\text{ V}$ ; $I_D = 16.66\text{ A}$	-	0.07	-	$\Omega$
$C_{rs}$	feedback capacitance	$V_{GS} = 0\text{ V}$ ; $V_{DS} = 50\text{ V}$ ; $f = 1\text{ MHz}$	-	3	-	pF
$C_{iss}$	input capacitance	$V_{GS} = 0\text{ V}$ ; $V_{DS} = 50\text{ V}$ ; $f = 1\text{ MHz}$	-	403	-	pF
$C_{oss}$	output capacitance	$V_{GS} = 0\text{ V}$ ; $V_{DS} = 50\text{ V}$ ; $f = 1\text{ MHz}$	-	138	-	pF

Table 7. RF characteristics

Mode of operation: pulsed RF;  $t_p = 100\text{ }\mu\text{s}$ ;  $\delta = 20\%$ ;  $f = 225\text{ MHz}$ ; RF performance at  $V_{DS} = 50\text{ V}$ ;  $I_{Dq} = 40\text{ mA}$ ;  $T_{case} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ; unless otherwise specified; in a class-AB production test circuit.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$G_p$	power gain	$P_L = 1200\text{ W}$	23	24	25.4	dB
$RL_{in}$	input return loss	$P_L = 1200\text{ W}$	14	17.5	-	dB
$\eta_D$	drain efficiency	$P_L = 1200\text{ W}$	68	71	-	%

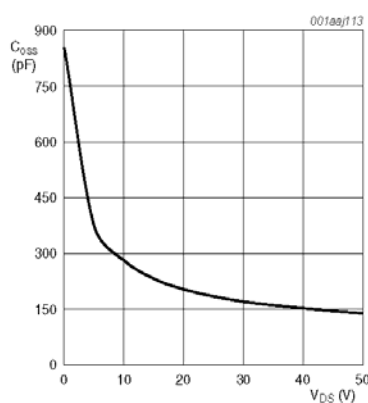
 $V_{GS} = 0\text{ V}$ ;  $f = 1\text{ MHz}$ .

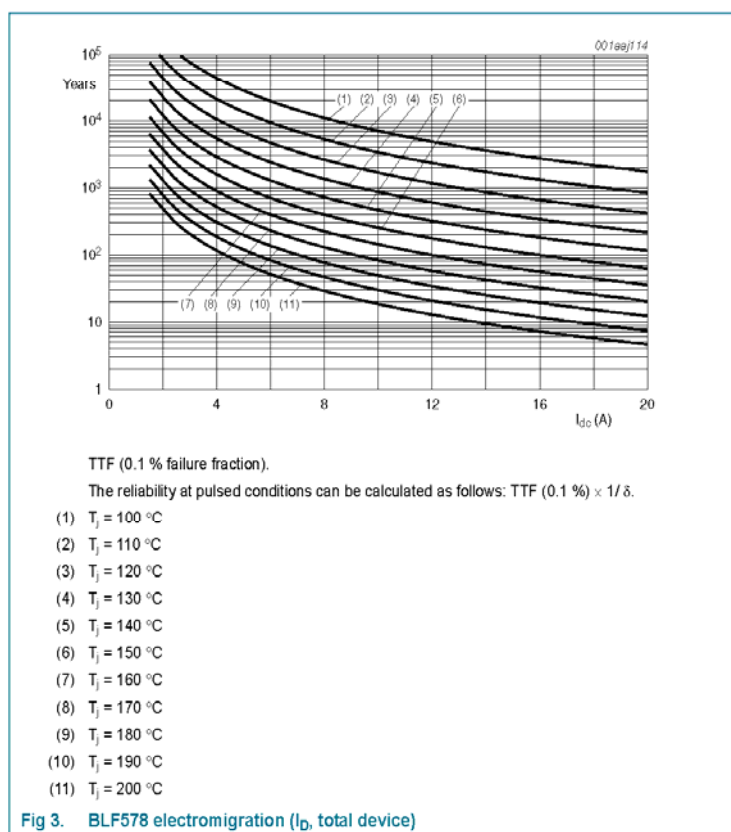
Fig 2. Output capacitance as a function of drain-source voltage; typical values per section

### 6.1 Ruggedness in class-AB operation

The BLF578 is capable of withstanding a load mismatch corresponding to  $VSWR = 13 : 1$  through all phases under the following conditions:  $V_{DS} = 50\text{ V}$ ;  $I_{Dq} = 40\text{ mA}$ ;  $P_L = 1200\text{ W}$  pulsed;  $f = 225\text{ MHz}$ .

## 7. Application information

### 7.1 Reliability



## 8. Test information

### 8.1 Impedance information

Table 8. Typical impedance  
Simulated  $Z_S$  and  $Z_L$  test circuit impedances.

f	$Z_S$	$Z_L$
MHz	$\Omega$	$\Omega$
225	$3.2 + j2.6$	$3.7 - j0.2$

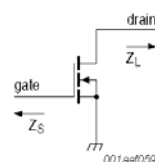
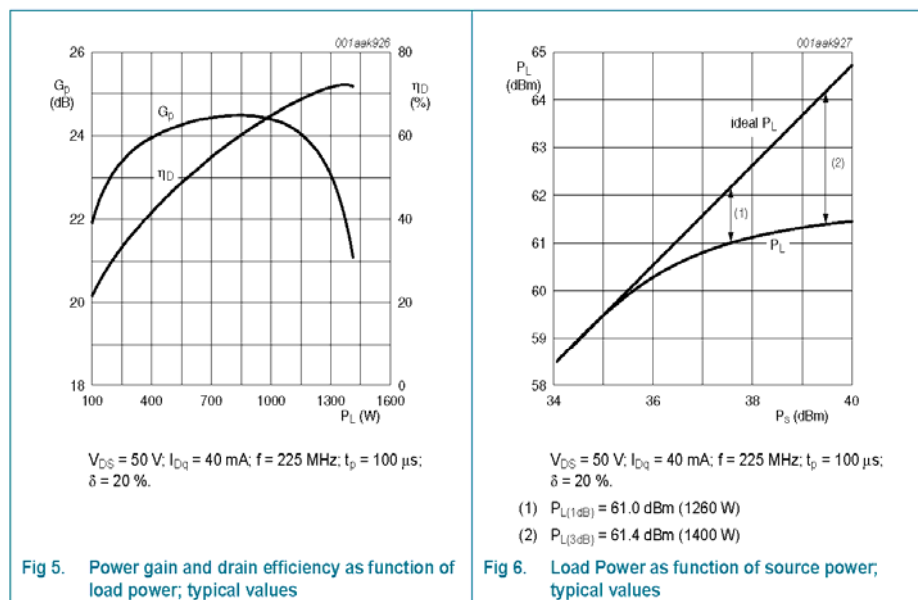


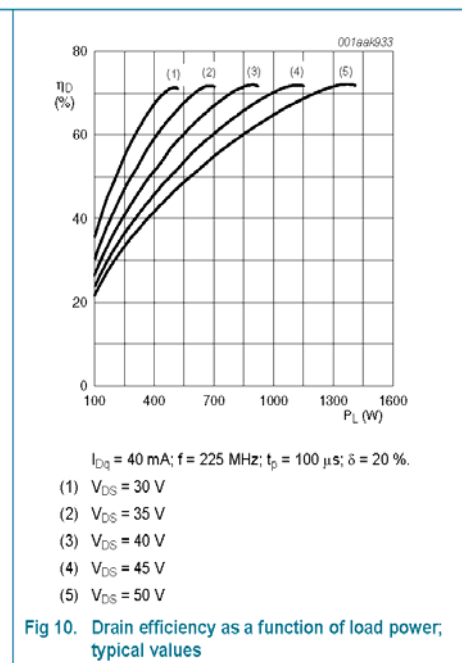
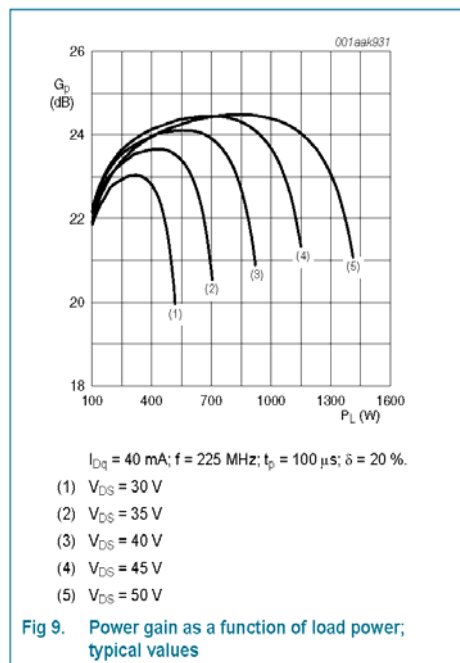
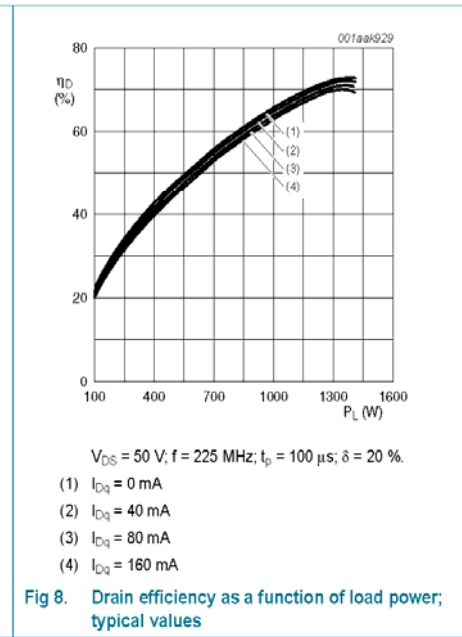
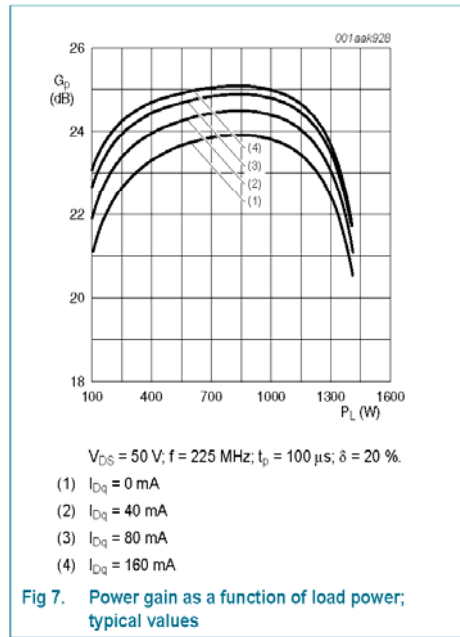
Fig 4. Definition of transistor impedance

### 8.2 RF performance

The following figures are measured in a class-AB production test circuit.

#### 8.2.1 1-Tone CW pulsed





**8.3 Test circuit**

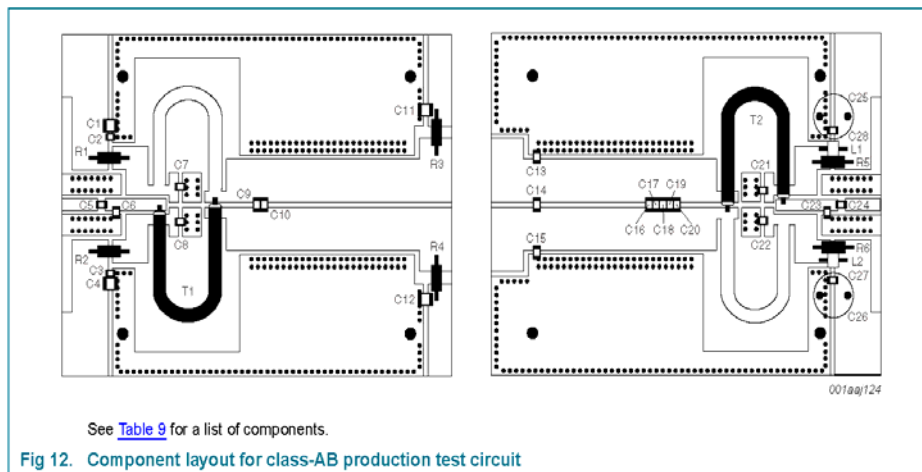
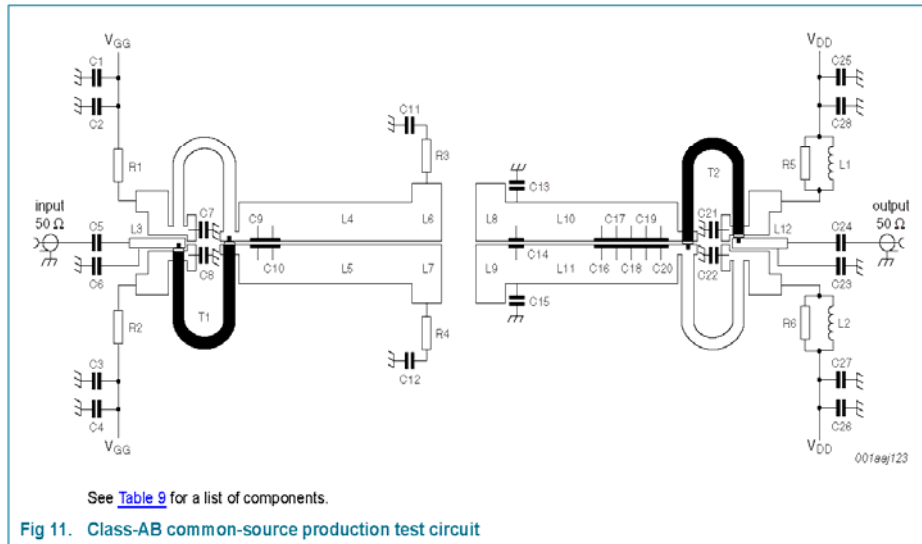


Table 9. List of components

For production test circuit, see [Figure 11](#) and [Figure 12](#).

Printed-Circuit Board (PCB): Rogers 5880;  $\epsilon_r = 2.2$  F/m; height = 0.79 mm; Cu (top/bottom metallization); thickness copper plating = 35  $\mu\text{m}$ .

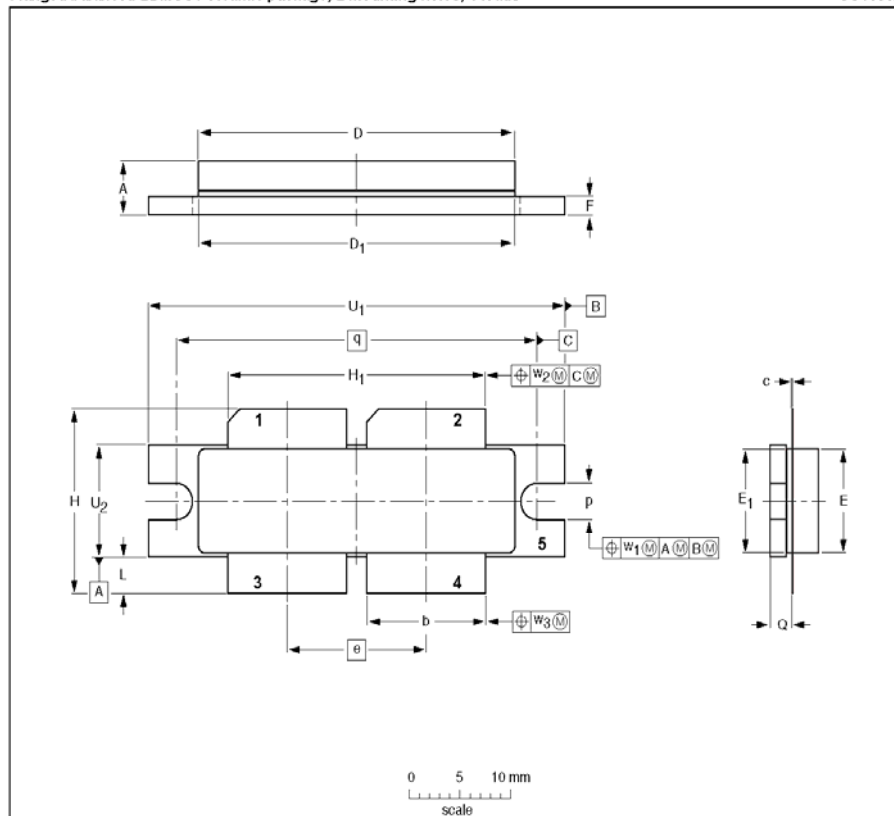
Component	Description	Value	Remarks
C1, C2, C11, C12	multilayer ceramic chip capacitor	4.7 $\mu\text{F}$	TDK4532X7R1E475Mt020U
C2, C3, C27, C28	multilayer ceramic chip capacitor	100 nF	Murata X7R 250 V
C5, C7, C8, C21, C22	multilayer ceramic chip capacitor	1 nF	[1]
C6	multilayer ceramic chip capacitor	30 pF	[1]
C9, C10, C13, C15	multilayer ceramic chip capacitor	62 pF	[1]
C14	multilayer ceramic chip capacitor	36 pF	[1]
C16, C17	multilayer ceramic chip capacitor	24 pF	[1]
C18	multilayer ceramic chip capacitor	30 pF	[1]
C19	multilayer ceramic chip capacitor	27 pF	[1]
C20	multilayer ceramic chip capacitor	9.1 pF	[1]
C23	multilayer ceramic chip capacitor	13 pF	[1]
C24	multilayer ceramic chip capacitor	16 pF	[1]
C25, C26	electrolytic capacitor	220 $\mu\text{F}$ ; 63 V	
L1, L2	3 turns 1 mm copper wire	D = 2 mm; length = 3 mm	
L3, L12	stripline	-	(L $\times$ W) 15 mm $\times$ 2.4 mm
L4, L5, L10, L11	stripline	-	(L $\times$ W) 47 mm $\times$ 10 mm
L6, L7, L8, L9	stripline	-	(L $\times$ W) 8 mm $\times$ 15 mm
R1, R2	metal film resistor	2 $\Omega$ ; 0.6 W	
R3, R4	metal film resistor	20 $\Omega$ ; 0.6 W	
R5, R6	metal film resistor	1 $\Omega$ ; 0.6 W	
T1, T2	semi rigid coax	50 $\Omega$ ; 58 mm	EZ-141-AL-TP-M17

[1] American Technical Ceramics type 100B or capacitor of same quality.

9. Package outline

Flanged balanced LDMOST ceramic package; 2 mounting holes; 4 leads

SOT539A



**DIMENSIONS** (millimetre dimensions are derived from the original inch dimensions)

UNIT	A	b	c	D	D <sub>1</sub>	e	E	E <sub>1</sub>	F	H	H <sub>1</sub>	L	p	Q	q	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	w <sub>1</sub>	w <sub>2</sub>	w <sub>3</sub>
mm	4.7 4.2	11.81 11.56	0.18 0.10	31.55 30.94	31.52 30.96	13.72	9.50 9.30	9.53 9.27	1.75 1.50	17.12 16.10	25.53 25.27	3.48 2.97	3.30 3.05	2.26 2.01	35.56	41.28 41.02	10.29 10.03	0.25	0.51	0.25
inches	0.185 0.165	0.465 0.455	0.007 0.004	1.242 1.218	1.241 1.219	0.540	0.374 0.366	0.375 0.365	0.069 0.059	0.674 0.634	1.005 0.995	0.137 0.117	0.130 0.079	0.089 0.079	1.400	1.625 1.615	0.405 0.395	0.010	0.020	0.010

- Note
1. millimeter dimensions are derived from the original inch dimensions.
  2. recommended screw pitch dimension of 1.52 inch (38.6 mm) based on M3 screw.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT539A					00-03-09 10-02-02

Fig 13. Package outline SOT539A

## 10. Abbreviations

Table 10. Abbreviations

Acronym	Description
CW	Continuous Wave
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
GSM	Global System for Mobile communications
HF	High Frequency
LDMOS	Laterally Diffused Metal-Oxide Semiconductor
LDMOST	Laterally Diffused Metal-Oxide Semiconductor Transistor
RF	Radio Frequency
TTF	Time To Failure
VSWR	Voltage Standing-Wave Ratio

## 11. Revision history

Table 11. Revision history

Document ID	Release date	Data sheet status	Change notice	Supersedes
BLF578_2	20100204	Product data sheet	-	BLF578_1
Modifications:				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">Table 1 on page 1</a>: added information for CW performance.</li> <li>• <a href="#">Section 1 on page 1</a>: changed typical value of <math>\eta_D</math>.</li> <li>• <a href="#">Table 4 on page 2</a>: changed maximum value of <math>I_D</math>.</li> <li>• <a href="#">Table 5 on page 3</a>: changed value of <math>R_{th(j-c)}</math>.</li> <li>• <a href="#">Table 5 on page 3</a>: added information about <math>Z_{th(j-c)}</math>.</li> <li>• <a href="#">Figure 1 on page 3</a>: added figure.</li> <li>• <a href="#">Table 6 on page 3</a>: added values vor <math>V_{GSq}</math>.</li> <li>• <a href="#">Table 6 on page 3</a>: changed typical value of <math>I_{DSx}</math>.</li> <li>• <a href="#">Table 7 on page 4</a>: changed some values.</li> <li>• <a href="#">Section 8.2.1 on page 6</a>: changed some graphs.</li> </ul>				
BLF578_1	20081211	Objective data sheet	-	-



## 12. Legal information

### 12.1 Data sheet status

Document status <sup>[1][2]</sup>	Product status <sup>[3]</sup>	Definition
Objective [short] data sheet	Development	This document contains data from the objective specification for product development.
Preliminary [short] data sheet	Qualification	This document contains data from the preliminary specification.
Product [short] data sheet	Production	This document contains the product specification.

[1] Please consult the most recently issued document before initiating or completing a design.

[2] The term 'short data sheet' is explained in section "Definitions".

[3] The product status of device(s) described in this document may have changed since this document was published and may differ in case of multiple devices. The latest product status information is available on the internet at URL: <http://www.nxp.com>.

### 12.2 Definitions

**Draft** — The document is a draft version only. The content is still under internal review and subject to formal approval, which may result in modifications or additions. NXP Semiconductors does not give any representations or warranties as to the accuracy or completeness of information included herein and shall have no liability for the consequences of use of such information.

**Short data sheet** — A short data sheet is an extract from a full data sheet with the same product type number(s) and title. A short data sheet is intended for quick reference only and should not be relied upon to contain detailed and full information. For detailed and full information see the relevant full data sheet, which is available on request via the local NXP Semiconductors sales office. In case of any inconsistency or conflict with the short data sheet, the full data sheet shall prevail.

**Product specification** — The information and data provided in a Product data sheet shall define the specification of the product as agreed between NXP Semiconductors and its customer, unless NXP Semiconductors and customer have explicitly agreed otherwise in writing. In no event however, shall an agreement be valid in which the NXP Semiconductors product is deemed to offer functions and qualities beyond those described in the Product data sheet.

### 12.3 Disclaimers

**Limited warranty and liability** — Information in this document is believed to be accurate and reliable. However, NXP Semiconductors does not give any representations or warranties, expressed or implied, as to the accuracy or completeness of such information and shall have no liability for the consequences of use of such information.

In no event shall NXP Semiconductors be liable for any indirect, incidental, punitive, special or consequential damages (including - without limitation - lost profits, lost savings, business interruption, costs related to the removal or replacement of any products or rework charges) whether or not such damages are based on tort (including negligence), warranty, breach of contract or any other legal theory.

Notwithstanding any damages that customer might incur for any reason whatsoever, NXP Semiconductors' aggregate and cumulative liability towards customer for the products described herein shall be limited in accordance with the *Terms and conditions of commercial sale* of NXP Semiconductors.

**Right to make changes** — NXP Semiconductors reserves the right to make changes to information published in this document, including without limitation specifications and product descriptions, at any time and without notice. This document supersedes and replaces all information supplied prior to the publication hereof.

**Suitability for use** — NXP Semiconductors products are not designed, authorized or warranted to be suitable for use in medical, military, aircraft, space or life support equipment, nor in applications where failure or

malfunction of an NXP Semiconductors product can reasonably be expected to result in personal injury, death or severe property or environmental damage. NXP Semiconductors accepts no liability for inclusion and/or use of NXP Semiconductors products in such equipment or applications and therefore such inclusion and/or use is at the customer's own risk.

**Applications** — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. NXP Semiconductors makes no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

NXP Semiconductors does not accept any liability related to any default, damage, costs or problem which is based on a weakness or default in the customer application/use or the application/use of customer's third party customer(s) (hereinafter both referred to as "Application"). It is customer's sole responsibility to check whether the NXP Semiconductors product is suitable and fit for the Application planned. Customer has to do all necessary testing for the Application in order to avoid a default of the Application and the product. NXP Semiconductors does not accept any liability in this respect.

**Limiting values** — Stress above one or more limiting values (as defined in the Absolute Maximum Ratings System of IEC 60134) will cause permanent damage to the device. Limiting values are stress ratings only and (proper) operation of the device at these or any other conditions above those given in the Recommended operating conditions section (if present) or the Characteristics sections of this document is not warranted. Constant or repeated exposure to limiting values will permanently and irreversibly affect the quality and reliability of the device.

**Terms and conditions of commercial sale** — NXP Semiconductors products are sold subject to the general terms and conditions of commercial sale, as published at <http://www.nxp.com/profile/terms>, unless otherwise agreed in a valid written individual agreement. In case an individual agreement is concluded only the terms and conditions of the respective agreement shall apply. NXP Semiconductors hereby expressly objects to applying the customer's general terms and conditions with regard to the purchase of NXP Semiconductors products by customer.

**No offer to sell or license** — Nothing in this document may be interpreted or construed as an offer to sell products that is open for acceptance or the grant, conveyance or implication of any license under any copyrights, patents or other industrial or intellectual property rights.

**Export control** — This document as well as the item(s) described herein may be subject to export control regulations. Export might require a prior authorization from national authorities.

**Non-automotive qualified products** — Unless the data sheet of an NXP Semiconductors product expressly states that the product is automotive qualified, the product is not suitable for automotive use. It is neither qualified nor tested in accordance with automotive testing or application requirements. NXP Semiconductors accepts no liability for inclusion and/or use of non-automotive qualified products in automotive equipment or applications.

In the event that customer uses the product for design-in and use in automotive applications to automotive specifications and standards, customer (a) shall use the product without NXP Semiconductors' warranty of the

product for such automotive applications, use and specifications, and (b) whenever customer uses the product for automotive applications beyond NXP Semiconductors' specifications such use shall be solely at customer's own risk, and (c) customer fully indemnifies NXP Semiconductors for any liability, damages or failed product claims resulting from customer design and use of the product for automotive applications beyond NXP Semiconductors' standard warranty and NXP Semiconductors' product specifications.

## 12.4 Trademarks

Notice: All referenced brands, product names, service names and trademarks are the property of their respective owners.

## 13. Contact information

For more information, please visit: <http://www.nxp.com>

For sales office addresses, please send an email to: [salesaddresses@nxp.com](mailto:salesaddresses@nxp.com)

**14. Contents**

<b>1</b>	<b>Product profile</b> . . . . .	<b>1</b>
1.1	General description . . . . .	1
1.2	Features . . . . .	1
1.3	Applications . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Pinning information</b> . . . . .	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Ordering information</b> . . . . .	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Limiting values</b> . . . . .	<b>2</b>
<b>5</b>	<b>Thermal characteristics</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>6</b>	<b>Characteristics</b> . . . . .	<b>3</b>
6.1	Ruggedness in class-AB operation . . . . .	4
<b>7</b>	<b>Application information</b> . . . . .	<b>5</b>
7.1	Reliability . . . . .	5
<b>8</b>	<b>Test information</b> . . . . .	<b>6</b>
8.1	Impedance information . . . . .	6
8.2	RF performance . . . . .	6
8.2.1	1-Tone CW pulsed . . . . .	6
8.3	Test circuit . . . . .	8
<b>9</b>	<b>Package outline</b> . . . . .	<b>10</b>
<b>10</b>	<b>Abbreviations</b> . . . . .	<b>11</b>
<b>11</b>	<b>Revision history</b> . . . . .	<b>11</b>
<b>12</b>	<b>Legal information</b> . . . . .	<b>12</b>
12.1	Data sheet status . . . . .	12
12.2	Definitions . . . . .	12
12.3	Disclaimers . . . . .	12
12.4	Trademarks . . . . .	13
<b>13</b>	<b>Contact information</b> . . . . .	<b>13</b>
<b>14</b>	<b>Contents</b> . . . . .	<b>14</b>



Please be aware that important notices concerning this document and the product(s) described herein, have been included in section 'Legal information'.

© NXP B.V. 2010.

All rights reserved.

For more information, please visit <http://www.nxp.com>

For sales office addresses, please send an email to: [salesaddresses@nxp.com](mailto:salesaddresses@nxp.com)

Date of release: 4 February 2010

Document identifier: BLF578\_2

ภาคผนวก ก

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่



## บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Ratniyomchai, K., Santalunai, S., Thosdeekoraphat, T. and Thongsopa, C. (2013). **Optimization of Capacitor Copper Plate for Dielectric Heating to Eliminate Insect.** Applied Mechanics and Materials Vol. 343 (2013) pp 101-105.



*Applied Mechanics and Materials Vol. 343 (2013) pp 101-105*  
 Online available since 2013/Jul/31 at [www.scientific.net](http://www.scientific.net)  
 © (2013) Trans Tech Publications, Switzerland  
 doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.343.101

## Optimization of Capacitor Copper Plate for Dielectric Heating to Eliminate Insect

Kongsak Ratniyomchai<sup>a</sup> Samran Santalunai<sup>b</sup> Thanaset Thosdeekoraphat<sup>c</sup>  
 and Chanchai Thongsopa<sup>d</sup>

School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology Nakhonratchasima  
 30000, Thailand

<sup>a</sup>k.ratniyomchai@gmail.com, <sup>b</sup>santalunai.sja@gmail.com, <sup>c</sup>thanaset@sut.ac.th, <sup>d</sup>chan@sut.ac.th

**Keywords:** Dielectric heating, Series resonance, Eliminate insect, Plate capacitor

**Abstract.** This paper presents the optimization of dielectric heating by using capacitor copper plate material. It has dimension of 50x50 mm. and the distance between plates is 3 mm. This work is used for preheating of insect and pests. Considering the RLC resonance circuit and the power per heating area, the rice weevils are used for sample dielectric. While the power transfer is varied from 10 - 80 watt and resonance frequency at 65 MHz for analysis, the rice weevils are died when the power transfer are more than 70 watt in 1 second. Moreover, If the power transfer is decrease, the period of time is increase. Approximate 10 watt of power transfer, the plate copper has less power so the rice weevils are breaking. Therefore, the power transfer has an effect on the heating area, which is the relation of the fast time.

### Introduction

In recent years, the heating technology has been developed for many applications. This technology can be used for all of industry and household, which are such as ceramic industry and preserved industry. The source of heating power has various types, which are gas, induction heating, radio frequency, and microwave frequency. Especially, the heating source from radio frequency. Because the radio frequency range is reacted with molecule structure, the molecular quake is occurred. And the molecular quake is the cause of rapidly and regularly heat. The preheating by using radio frequency is preheating technical for pole molecular structure, it is famous application [1,2] The dielectric heating is used to induce the frequency wave and is transmit the power into lossless dielectric medium by using plate capacitor. The plate capacitor is the medium which is radiated the electric field. It has an effect and dielectric material which is the heating. The main parameter of resonance frequency, radiation pattern of wave in the loss factor dielectric, and power. The important parameter is the characteristic of dielectric which is related with the frequency [3,4]. The part of plate capacitor is importance because it used for optimize the power. Because of the problem of insect in agriculture, the chemicals are used to solve a problem for agriculture [5]. But is has the chemical which leaf over a product. From this paper, the organism of pest has a liquid which induce radio frequency and then the heating is occurred [6]

In this paper, the dielectric heating is presented by using capacitor copper plate material, it use for clear up the pest. Considerity, the copper plate which has the dimension of 50x50 mm. and has the distance between plate of 3 mm. Moreover, the rice weevils are used for sample dielectric. When the power source approximate 70 watt, the rice weevils are heat very fast and it is dead in 1 second. Conversely, if the power source is low, the period of time is increased. Therefore, the power source an effect on the heating area, which if the both of thing is satisfied, the period of time is decreased.

### Dielectric heating

The material property known as the loss factor  $\varepsilon'$  is the ability of the dielectric material to convert the applied electric field into heat. The higher the loss factor is, the easier the dielectric material is to be affected by dielectric heating. Materials with a loss factor greater than 0.02 are generally considered

for dielectric heating [7]. However, temperature can sometimes increase the loss factor of some products. The permittivity denoted by the symbol  $\epsilon$  is the ability of a dielectric material to be polarized. Dividing the permittivity by the permittivity of free space  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$  resulted in the relative permittivity (dielectric constant). The dielectric constant varies with the frequency applied and the temperature of the material. The power absorbed by the material is the value of heat generated through the material and is represented as Eq. 1

$$P = E^2 \sigma = 2\pi f E^2 \epsilon_0 \epsilon'' \quad (1)$$

Where,  $P$  is power density ( $\text{W/m}^3$ ),  $E$  is rms electric field strength in the material ( $\text{V/m}$ ),  $\sigma$  is conductivity ( $1/\Omega\text{m}$ ),  $f$  is applied frequency (Hz),  $\epsilon_0$  is permittivity of free space ( $\text{F/m}$ ) and  $\epsilon''$  is loss factor. The rate of temperature increase ( $\text{C/s}$ ). It is represented as Eq. 2 Where,  $c$  is specific heat of the material ( $\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$ ) and  $\rho$  is density of the material ( $\text{kg/m}^3$ )

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{P}{\rho c} \quad (2)$$

The penetration depth is defined as the depth at which the power has decayed to 0.368 (1/e) of its maximum value [8]. It may vary depending on the loss factor and the frequency used. Usually, the higher the loss factor is, the lower the penetration depth will be. As wavelength increases, the penetration depth increases as well. The relationship between wavelength and penetration depth is expressed as Eq. 3 where,  $d_p$  is penetration depth (cm) and  $c$  is speed of light ( $3 \times 10^8$ )

$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\epsilon'' \left[ \sqrt{1 + (\epsilon''/\epsilon')^2} - 1 \right]}} \quad (3)$$

### Capacitance of parallel plates

For the dielectric heating, it is a high efficiency heating technique. It uses the principle of altering the electric field between the anode and cathode of a plate capacitor. The material being heated is placed between the anode and cathode of the electric field, which causes the molecules of the dielectric material to continually reverse their poles at the resonance frequency for the reverse direction of the pole. Because of the friction of molecular movement, the dielectric material is rapidly heated. The structure of the plate capacitor is shown in Fig. 1.

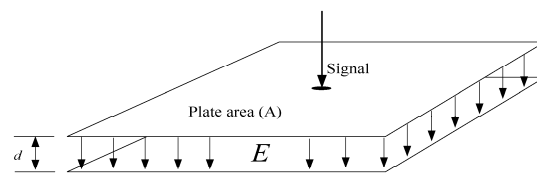


Fig. 1 The structure of the plate capacitor

The capacitance of a plate can be calculated by Eq. 4, where  $A$  is plate area,  $d$  is distance between plates and  $\epsilon$  is permittivity of material. The electric field between two large parallel plates is given by Eq. 5, where  $\sigma$  is charge density and  $V$  is voltage difference between the two plates. [7]

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (4)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{V}{d} \quad (5)$$

### Circuit configurations

The RLC resonance circuit is used to design the dielectric heating analysis is shown in Fig. 2(a). It can be analyze the circuit, which bring about the voltage in plate capacitor ( $V_C$ ) and put across inductance ( $V_L$ ) From equation  $XC = 1/(2\pi fC)$ ,  $XL = 2\pi fL$ ,  $V_C = IXC$  and  $V_L = IXL$  In addition,  $v_c$  is equal  $v_l$  at the resonance circuit. The dimension of plate is  $50 \times 50$  mm. and the distance between plate ( $d$ ) is 3 mm. The plate capacitor value can be calculated from Eq. 4, which is 7.38 pF. Moreover, the induction value is 0.81  $\mu$ H at the resonance frequency. And then, the calculation of power that is used for analyze the plate capacitor voltage ( $V_C$ ), is illustrated in Fig. 2(b). When the dielectric heating is prospered and the power is increased, so the voltage that is put across plate capacitor is directed variation with the power.

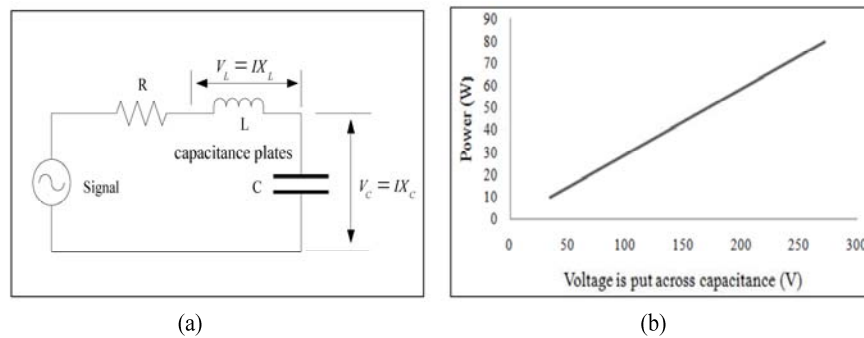


Fig. 2 (a) RLC series resonance circuit and (b) Voltage is put across capacitance of power

### Thermal analysis of dielectric material

Analysis of dielectric heating reproduces dielectric material as rice weevil, which rice weevil has the temperature of  $48^\circ\text{C}$  or  $120^\circ\text{F}$  [9], it can assassinate the rice weevil at this temperature. The specified heat of the material ( $c$ ) has value of  $3.45$  ( $\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ) and the density of the material  $\rho$  of  $1000$   $\text{kg}/\text{m}^3$  From Eq. 2, the power density per time can be calculated, the temperature is  $48^\circ\text{C}$  in 60 second. After that, electric field energy ( $E$ ) is calculated from Eq.1, when the resonance frequency of 65 MHz and loss factor of 2.1 [10], the electric field energy can shown in Fig. 3(a). Furthermore, Fig. 3(b) shows the analysis of power for dielectric heating. We found that, the power transfer is decrease; the period of time is increase. Approximate 70 watt of power transfer, the rice weevils are died in 1 second.



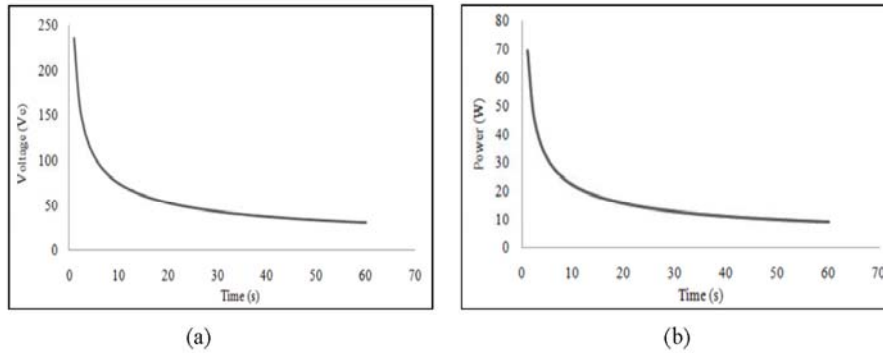


Fig. 3 (a) Electric field energy per time and (b) Power calculate per time

### Experimental Results

To verify the calculation results, the dielectric heating is tested by using RLC series resonance circuit and electrical power is 10 – 80 watt, resonance frequency at 65 MHz. On  $50 \times 50$  mm. Plate capacitor and distance between plate of 3 mm. For dielectric heating, it uses the 5 rice weevils for dielectric and tested by 2 case are used the rice weevils in plate capacitor before transfer source and after transfer source. The measurement of time is 60 second and the power is increased from 10 watt to 80 watt. It seems that the dielectric heating as shown in Fig. 4(a). Finally, the calculation and measurement results is satisfied, as shown in Fig. 4(b).

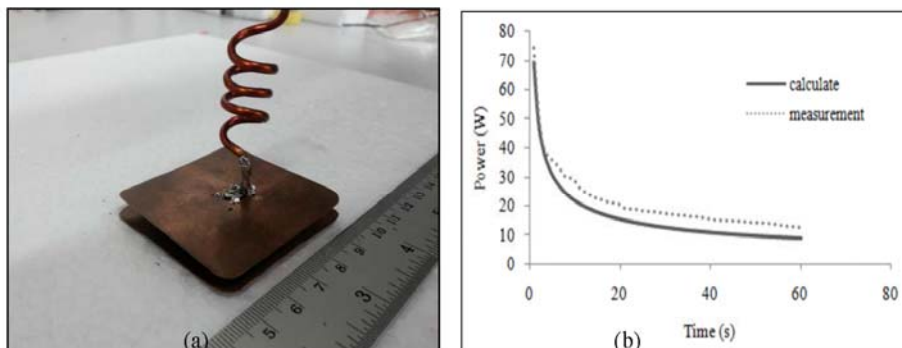


Fig. 4. (a) The dielectric tested setup and (b) The Result of Power calculate per time and Power measurement

In fig.4 (b) When compare the result of power calculate and power measurement. We found that, the results of measurement have tended in the direction of the calculation. When the power source is high, the rice weevils are heat very fast and it is dead very fast too case all. The rice weevils are died when the power transfer are more than 70 watt in 1 second. Conversely, if the power source is low, the period of time is increased. Therefore, the power source an effect on the heating area, which if the both of thing is satisfied, the period of time is decreased.

### Conclusions

In this paper, presents the optimization of dielectric heating by using RLC series resonance circuit and electrical power is 10 – 80 watt, resonance frequency at 65 MHz and tested by using capacitor copper plate material, it use for clear up the pest. Considerate, the copper plate which has the dimension of  $50 \times 50$  mm. and has the distance between plate of 3 mm. Moreover, the 5 rice weevils

are used for sample dielectric by 2 case are used the rice weevils in plate capacitor before transfer source and after transfer source. the rice weevils are heat very fast and it is dead in 1 second case all, when the power source are more than 70 watt. Conversely, if the power sources are low, the period of time is increased. Therefore, the power source an effect on the heating area, which if the both of thing is satisfied, the period of time is decreased.

#### Acknowledgements

This work was supported by Suranaree University of Technology (SUT) and by the Office of the Higher Education under NRU project of Thailand.

#### References

- [1] H. Oka, S. Uchidate, N. Sekino, Y. Namizaki, K. Kubota, H. Osada, F.P. Dawson, and J.D. Lavers,; Electromagnetic Wave Absorption Characteristics of Half Carbonized Powder-Type Magnetic Wood, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 47, (2011), p. 3078-3070
- [2] C. Li, J. Wang, and J. Zhu,; Experiment and Theoretical Study on Thermal Performance of Honeycomb Ceramic Regenerative Heat Exchanger, *Power and Energy Engineering Conference (APPEEC) Asia-Pacific*, (2010), p. 1-6
- [3] B. Sonerud, T. Bengtsson, J. Blennow and S.M. Gubanski,; Dielectric heating in insulating materials subjected to voltage waveforms with high harmonic content, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 16, (2009), p. 926-933
- [4] Y. Okamoto, R. Himeno, K. Ushida, A. Ahagon and K. Fujiwara,; A Dielectric Heating Analysis Method With Accurate Rotational Motion of Stirrer Fan Using Nonconforming Mesh Connection, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 44, (2008), p. 806-809,
- [5] J. Larry Zettler and F. H. Arthur,; Chemical control of stored product insects with fumigants and residual treatments, *Crop Protection* Vol.1, (2000), p. 577-582
- [6] P.M. Edward and S. K. Elena,; Aminopeptidase-Like Activity in Hemolymph Plasma from Larvae of the Gypsy Moth, *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) *Comp Biochem Physiol*, Vol. 116B, (1997) p. 11–18
- [7] V. Komarov,; Dielectric and Thermal Properties of Materials at Microwave Frequencies, *Handbook*, Artech House, 2012
- [8] S. Wang, J. Tang, J.A. Johnson, E. Mitcham, J.D. Hansen, G. Hallman, S.R. Drake, and Y. Wang,; Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to Radio Frequency and Microwave Treatments, *Biosystems Engineering*, Vol. 85, (2003), p. 201-212
- [9] O. Sitophilus and P. G. Koehler,; Rice Weevil, University of Florida, IFAS Extension, Revised 2012
- [10] Nelson, O. Stuart,; Agricultural applications of dielectric measurements, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 13, (2006), p.688-702

**Construction Materials and Computer Engineering II**

10.4028/www.scientific.net/AMM.343

**Optimization of Capacitor Copper Plate for Dielectric Heating to Eliminate Insect**

10.4028/www.scientific.net/AMM.343.101

## ประวัติผู้เขียน

นายคงศักดิ์ รัตนนิมิตต์ เกิดเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 ที่อำเภออุ้มผาง จังหวัดสุพรรณบุรี ปัจจุบันอาศัยอยู่บ้านเลขที่ 85 หมู่ที่ 6 ตำบลบ้านโฆ้ง อำเภออุ้มผาง จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอุ้มผาง จังหวัดสุพรรณบุรี ปีการศึกษา 2546 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี 2550

ในปี พ.ศ. 2553 ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และขณะที่ศึกษาในระดับปริญญาโท ได้มีผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ทั้งในระดับนานาชาติ 1 ฉบับในปี 2556 ในงาน Applied Mechanics and Materials ( ICSCMCE 2013) ในหัวข้อ “Optimization of Capacitor Copper Plate for Dielectric Heating to Eliminate Insect”

