



การออกแบบวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณวิทยุในย่านความถี่เอฟเอ็ม
(Design of power amplifier radio frequency circuit for FM band)


นำเสนอ โดย

นายพิพัชรพล จอมพลาพล	รหัสนักศึกษา	B5012077
นายอติชาติ เรียวเรืองแสงกุล	รหัสนักศึกษา	B5019410
นายอภิวัฒน์ บัวเบิก	รหัสนักศึกษา	B5026319

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427494 โครงการศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2554
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2546
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การออกแบบวงจรถยายกำลังส่งสัญญาณวิทยุในย่านความถี่เอฟเอ็ม

คณะกรรมการสอบโครงการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญชัย ทองโสภะ)
กรรมการ/อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. ประโยชน์ คำสวัสดิ์)
กรรมการ



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ กระจอดนอก)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำรายงานโครงการฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รายวิชา 427499 โครงการวิศวกรรม โทรคมนาคม และรายวิชา 427494 โครงการศึกษาวิศวกรรมโทรคมนาคม ประจำปีการศึกษา 2554

โครงการ	การออกแบบวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณวิทยุในย่านความถี่เอฟเอ็ม (Design of power amplifier radio frequency circuit for FM band)	
จัดทำโดย	นายพิพัชรพล จอมพลาพล	รหัสนักศึกษา B5012077
	นายนายอดิชาติ เรียวเรืองแสงกุล	รหัสนักศึกษา B5019410
	นายอภิวัฒน์ บัวเบิก	รหัสนักศึกษา B 5026319
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภ	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม	
ภาคการศึกษาที่	3/2554	

บทคัดย่อ

(Abstract)

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประยุกต์การทำงานของ Power amplifier โดยใช้ทรานซิสเตอร์ BLF 578 ซึ่งคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ตัวนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้าน High-efficiency tuning set-up , High voltage LDMOS , Amplifier implementation , Class-B CW , FM band , Pulsed power แต่ในที่นี้เราจะใช้คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ BLF 578 ทางด้าน FM band โดยใช้หลักการ Matching circuit เพื่อทำการขยายกำลังส่งสัญญาณในย่านความถี่ 88-108 MHz ให้มีกำลังงานสูงยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

โครงการเครื่องขยายกำลังส่ง ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้ทำโครงการขอกราบ
ขอบพระคุณ ผ.ศ.ดร.ชาญชัย ทองโสภณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะ
และให้การช่วยเหลือในการศึกษาโครงการอย่างดีตลอดมา รวมถึงให้คำแนะนำในการเขียนและ
ตรวจแก้โครงการจนเสร็จสมบูรณ์

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทุกท่านที่
สละเวลาให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกแก่ผู้ทำโครงการ

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมในการให้ข้อมูล
และเป็นที่ปรึกษาในการทำรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้การดูแลและให้ความเข้าใจ
เกี่ยวกับพื้นฐานการใช้งานโปรแกรม ซึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นายพิพัชรพล จอมพลาพล

นายนายอดิชาติ เรียวเรืองแสงกุล

นายอภิวัฒน์ บัวเบิก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ขอบเขตการทำงาน.....	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่สำคัญเกี่ยวกับคลื่นความถี่วิทยุ	4
2.1 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุ	4
2.2 การส่งกำลังคลื่นความถี่วิทยุ	7
2.3 การวิเคราะห์อิมพีแดนซ์โดยใช้สมิทชาร์ต.....	9
บทที่ 3 วงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในย่านความถี่เอฟเอ็ม กำลัง 1000 วัตต์.....	13
3.1 ระบบทั่วไปของการใช้งานคลื่นวิทยุ.....	13
3.2 วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ.....	14
3.3 โครงสร้างของวงจรขยายสัญญาณคลื่นวิทยุแบบ พูช-พูล (Push-Pull).....	17
3.4 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณคลื่นวิทยุแบบ พูช-พูล ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์กำลัง 1000 วัตต์.....	20

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 การออกแบบและสร้างวงจรมายำกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ ในย่านความถี่เอฟเอ็ม กำลัง 1000 วัตต์.....	37
4.1 การออกแบบวงจรมายำสัญญาณวิทยุ ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์.....	37
4.2 การสร้างวงจรมายำสัญญาณวิทยุ ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์.....	62
บทที่ 5 ผลการทดลอง	70
5.1 การวัดผลการทดลองวงจรมายำกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในย่านความถี่เอฟเอ็ม	70
5.2 สรุปผลการทดลอง.....	98
บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	99
6.1 สรุปผล.....	99
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	100
6.3 แนวทางการพัฒนา.....	100
ภาคผนวก.....	101
ประวัติผู้เขียน.....	116
บรรณานุกรม.....	117

สารบัญรูป

รายการ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงวงจรส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลด	7
รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่โหลดเทียบกับอิมพีแดนซ์ของโหลด	8
รูปที่ 2.3 แสดงวงจรที่ใช้ในการหาอินพุตอิมพีแดนซ์	9
รูปที่ 2.4 แสดงการหา Z_{in} โดยใช้สมิธชาร์ต	12
รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมของระบบคลื่นความถี่วิทยุพื้นฐาน	13
รูปที่ 3.2 คุณสมบัติทั่วไปของวงจรถายสัญญาณ	15
รูปที่ 3.3 รูปวงจรถายสัญญาณ	16
รูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างของวงจรถายกำลังคลื่นวิทยุแบบพวง - พูล	18
รูปที่ 3.5 วงจรถายสัญญาณคลาสเอบีแบบพวงพูล	19
รูปที่ 3.6 ลักษณะการทำงานของวงจรถายคลาสเอบีแบบพวงพูล	19
รูปที่ 3.7 ลักษณะของวงจรแยกสัญญาณ	21
รูปที่ 3.8 ลักษณะของวงจรรวมสัญญาณ	22
รูปที่ 3.9 แสดงการทำงานของบาลัน	23
รูปที่ 3.10 แสดงโครงสร้างของบาลัน	23
รูปที่ 3.11 แสดงอินพุตอิมพีแดนซ์เทียบกับความยาวของสายส่ง	25
รูปที่ 3.12 ก. แสดงรูปแบบ BLF 578	26
รูปที่ 3.12 ข. แสดงสัญลักษณ์ของ LDMOS BLF 578	26
รูปที่ 3.13 กราฟแสดงอินพุต / เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของมอสเฟต	28
รูปที่ 3.14 โครงข่ายแมตซ์จิ้งอิมพีแดนซ์	29

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 3.15 โครงข่ายแมตซ์ซิ่งอินพุตอิมพีแดนซ์.....	30
รูปที่ 3.16 โครงข่ายแมตซ์ซิ่งเอาต์พุตอิมพีแดนซ์.....	31
รูปที่ 3.17 โครงสร้างของแผนภูมิสมิท.....	32
รูปที่ 3.18 การกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิท.....	34
รูปที่ 3.19 ทิศทางการเคลื่อนที่ของการแมตซ์ซิ่งอุปกรณ์บนแผนภูมิสมิท.....	35
รูปที่ 3.20 การอ่านค่าความยาวของส่วน ไค้งบนแผนภูมิสมิท.....	36
รูปที่ 4.1 คุณสมบัติของสาย Semi Rigid Coaxial Cable RG405.....	41
รูปที่ 4.2 Smith Chart แสดงการวนหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้า ของวงจรบาลันทางด้านอินพุต.....	42
รูปที่ 4.3 วงจรแสดงอุปกรณ์ของวงจรบาลันทางด้านอินพุต.....	43
รูปที่ 4.4 คุณสมบัติของสาย Coaxial Cable RG402.....	46
รูปที่ 4.5 Smith Chart แสดงการวนหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้า ของวงจรบาลันทางด้านเอาต์พุต.....	47
รูปที่ 4.6 วงจรแสดงอุปกรณ์ของวงจรบาลันทางด้านเอาต์พุต.....	48
รูปที่ 4.7 คุณสมบัติของสาย Semi Rigid Coaxial Cable M17/152.....	51
รูปที่ 4.8 Smith Chart แสดงการวนหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าของ วงจรแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต.....	52
รูปที่ 4.9 วงจรแสดงอุปกรณ์ของแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต.....	53
รูปที่ 4.10 คุณสมบัติของสาย Coaxial Cable EZ-141-25.....	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 4.11 Smith Chart แสดงการวนหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า ของวงจรแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต.....	56
รูปที่ 4.12 วงจรแสดงอุปกรณ์ของแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต	57
รูปที่ 4.13 โครงสร้างของวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด LDMOS	60
รูปที่ 4.14 วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ LDMOS ที่ออกแบบ	61
รูปที่ 4.15 วงขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ.....	62
รูปที่ 4.16 วงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุค้ำอินพุต	63
รูปที่ 4.17 คลื่นวิทยุวงจขยายกำลังส่งสัญญาณค้ำเอาต์พุต.....	65
รูปที่ 4.18 แผงวงจรจริงที่พร้อมลงอุปกรณ์	66
รูปที่ 4.19 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในวงจรบางส่วน	67
รูปที่ 4.20 แผงวงจรที่ลงอุปกรณ์บางส่วนและสายส่งสัญญาณ	68
รูปที่ 4.21 แผงวงจรเมื่อลงอุปกรณ์สำเร็จ	68
รูปที่ 4.22 ทรานซิสเตอร์ BLF578.....	69
รูปที่ 4.23 วงจรที่ประกอบสำเร็จ พร้อมทั้งติดตั้งระบบระบายความร้อน	69
รูปที่ 5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองบางส่วน.....	70
รูปที่ 5.2 Infrared camera ที่ใช้วัดอุณหภูมิของทรานซิสเตอร์.....	71
รูปที่ 5.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงลักษณะการทดลองวงจร	72
รูปที่ 5.4 จ่ายแรงดันเข้าที่ขาครนเท่ากับ 48 โวลต์	72
รูปที่ 5.5 ปรับค่า Signal generator ให้ได้ความถี่ที่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 5.6 ค่าสูงสุดของกำลังของสัญญาณเอาต์พุตที่วัดได้โดย Watt meter ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์.....	73
รูปที่ 5.7 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่กำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุด ใน Oscilloscope ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์	74
รูปที่ 5.8 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่กำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุด ใน Spectrum analyzer ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์	74
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณเอาต์พุต(P_{out}) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์	77
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย(Gain) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์	77
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงาน(Efficiency) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์	78
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ(Temperature) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์	79
รูปที่ 5.13 จ่ายแรงดันเข้าที่ขาครนเท่ากับ 48 โวลต์	80
รูปที่ 5.14 ปรับค่า Signal generator ให้ได้ความถี่ที่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์	80
รูปที่ 5.15 ค่าสูงสุดของกำลังของสัญญาณเอาต์พุตที่วัดได้โดย Watt meter ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์.....	81
รูปที่ 5.16 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่กำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุดใน Oscilloscope ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์.....	81

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 5.17 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่กำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุดใน Spectrum analyzer ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์.....	82
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณเอาต์พุต(P_{out}) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์	85
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย(Gain) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์	85
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงาน(Efficiency) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์	86
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ(Temperature) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์	87
รูปที่ 5.22 จ่ายแรงดันเข้าที่ขาแครนเท่ากับ 48 โวลต์	88
รูปที่ 5.23 ปรับค่า Signal generator ให้ได้ความถี่ที่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์	88
รูปที่ 5.24 ค่าสูงสุดของกำลังของสัญญาณเอาต์พุตที่วัดได้ โดย Watt meter ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์.....	89
รูปที่ 5.25 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่กำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุดใน Oscilloscope ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์.....	89
รูปที่ 5.26 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่กำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุดใน Spectrum analyzer ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์.....	90
รูปที่ 5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณเอาต์พุต(P_{out}) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์	93

สารบัญรูป (ต่อ)

รายการ	หน้า
รูปที่ 5.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย(Gain) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์	93
รูปที่ 5.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงาน(Efficiency) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์	94
รูปที่ 5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ(Temperature) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์	95
รูปที่ 5.31 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณเอาต์พุต(P_{out}) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in})ของทั้งสามความถี่	96
รูปที่ 5.32 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย(Gain) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in})ของทั้งสามความถี่	96
รูปที่ 5.33 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงาน(Efficiency) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in})ของทั้งสามความถี่	97
รูปที่ 5.34 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ(Temperature) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in})ของทั้งสามความถี่	97
รูปที่ 5.35 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณเอาต์พุต(P_{out}) ในย่านความถี่ 88-108 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตเท่ากับ 1 วัตต์	98
รูปที่ 5.36 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย(Gain) ในย่านความถี่ 88-108 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตเท่ากับ 1 วัตต์	98
รูปที่ 5.37 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงาน(Efficiency) ในย่านความถี่ 88-108 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตเท่ากับ 1 วัตต์	99
รูปที่ 5.38 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ(Temperature) ในย่านความถี่ 88-108 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตเท่ากับ 1 วัตต์	99

สารบัญตาราง

รายการ	หน้า
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของ BLF578 จากแผ่นข้อมูล	27
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าต่างๆ ใน Smith Chart ของวงจรบาลันทางด้านอินพุต	43
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าต่างๆ ใน Smith Chart ของวงจรบาลันทางด้านเอาต์พุต.....	48
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าต่างๆ ใน Smith Chart ของวงจรแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์ด้านอินพุต	52
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าต่างๆ ใน Smith Chart ของวงจรแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์ด้านเอาต์พุต.....	57
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าต่างๆ ของวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุด้านอินพุต.....	64
ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าต่างๆ ของวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุด้านเอาต์พุต	66
ตารางที่ 5.1 ค่าจากการทดลองวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์	75
ตารางที่ 5.2 ค่าที่ได้จากการคำนวณของวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์	76
ตารางที่ 5.3 ค่าจากการทดลองวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์	83
ตารางที่ 5.4 ค่าที่ได้จากการคำนวณของวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์	84
ตารางที่ 5.5 ค่าจากการทดลองวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์	91
ตารางที่ 5.6 ค่าที่ได้จากการคำนวณของวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์	92

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในการขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุโดยใช้โซลิตสเตทนั้น จะใช้เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานความถี่สูงในย่านความถี่วิทยุ แต่โดยทั่วไปแล้ว อุปกรณ์ขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุที่มีกำลังขยายสูงมักเป็นหลอดสุญญากาศ ซึ่งมีข้อจำกัดด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง และความยืดหยุ่นในการซ่อมบำรุง จึงทำให้เกิดความไม่สะดวกในการใช้ เพราะฉะนั้นจึงได้เลือกใช้อุปกรณ์โซลิตสเตทในการสร้างวงจรขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ แต่ข้อจำกัดของอุปกรณ์โซลิตสเตท คือ ไม่สามารถจ่ายกำลังได้สูงถึงระดับกิโลวัตต์ได้ จึงต้องสร้างเป็นโมดูลขนาดเล็กแล้วรวมกำลังของแต่ละโมดูลเข้าด้วยกัน

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการพัฒนาโมดูลดังกล่าวขึ้น โดยในเบื้องต้นได้จำลองการทำงานของวงจรขยายสัญญาณแบบ พูช-พูล โดยใช้อุปกรณ์โซลิตสเตทดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทำความเข้าใจหลักการการทำงานของวงจรขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุ
2. สามารถออกแบบวงจรขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุได้
3. เพื่อศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่จำเป็นในการทดลอง และนำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองจริงได้
4. เพื่อพัฒนาวงจรขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตการทำงาน

1. ศึกษาอุปกรณ์โซลิตสเตทที่จะใช้ในวงจร
2. ศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวกับคลื่นความถี่วิทยุ
3. ศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจร
4. ออกแบบลายวงจรใน PCB เพื่อใช้เป็นแผงวงจร
5. นำอุปกรณ์ที่ใช้วงจรมาประกอบเข้าด้วยกันบนแผงวงจร และทำการทดสอบเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทำการพัฒนางจรที่ใช้อุปกรณ์โซลิตสเตทในการขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุได้
2. สามารถออกแบบและหาค่าต่างๆ ที่สำคัญในวงจรขยายสัญญาณความถี่คลื่นวิทยุได้
3. สามารถนำความรู้ความเข้าใจทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้
4. สามารถวิเคราะห์งานและแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาอุปกรณ์โซลิตสเตทที่จะใช้ในวงจร
2. ศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้เกี่ยวข้องกับคลื่นความถี่วิทยุ
3. ศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจร
4. คำนวณค่า Matching Impedance รวมไปถึงค่าต่างๆ ที่สำคัญในการออกแบบวงจร
5. ออกแบบลายวงจรและทำการสร้างลายวงจรบนแผ่น FR4 โดยการกัดแผ่นปริ้นท์
6. จัดหาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ตามที่ออกแบบ
7. ทำการประกอบอุปกรณ์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน
8. จ่ายไฟเลี้ยงให้แก่วงจร และทำการทดสอบการทำงานของวงจร
9. วิเคราะห์และสรุปผลการทำงานของวงจร
10. จัดทำรูปเล่มรายงาน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่สำคัญเกี่ยวกับคลื่นความถี่วิทยุ

2.1 ทฤษฎีการเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุ

คลื่นความถี่วิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยคลื่นไฟฟ้า และคลื่นแม่เหล็กแสดงดังสมการที่ (2.1) และ (2.2) ซึ่งองประกอบทั้งสองจะตั้งฉากกันและจะตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยเช่นกัน ในกรณีนี้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ตามแกน z

$$E_x = E_{0y} \cos(\omega t - \beta z) \quad (2.1)$$

$$H_y = H_{0y} \cos(\omega t - \beta z) \quad (2.2)$$

โดยที่ E_{0y} คือสนามไฟฟ้ามีหน่วยเป็น V/m และ H_{0y} คือสนามแม่เหล็กมีหน่วยเป็น A/m ในทางเทคนิค แล้วจะเรียกอัตราส่วนระหว่างสนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กนี้ว่า อินทรินสิคอิมพีแดนซ์ (Intrinsic impedance) แสดงดังสมการที่ (2.3)

$$\frac{E_x}{H_y} = Z_0 = \sqrt{\mu/\epsilon} = \sqrt{(\mu_0\mu)/(\epsilon_0\epsilon)} \quad (2.3)$$

และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความเร็วในการเคลื่อนที่แสดงดังสมการที่ (2.4)

$$v_p = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (2.4)$$

2.1.1 การเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุในสุญญากาศ

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือคลื่นความถี่วิทยุมีคุณสมบัติบางประการที่น่าสนใจ เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ และความยาวคลื่นเป็นต้น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุในสุญญากาศ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.5)

$$v_p = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} \quad (2.5)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

$$= 2.99792 \times 10^8 \text{ เมตร/วินาที}$$

และคลื่นความถี่วิทยุที่มีความยาวคลื่นแสดงดังสมการที่ (2.6)

$$\lambda = \frac{v_p}{f} \quad (2.6)$$

ในสุญญากาศสามารถหา อินทรีนิตี อิมพีแดนซ์ ได้ด้วยสมการที่ (2.7)

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (2.7)$$

$$= \sqrt{\frac{4\pi \times 10^{-7}}{8.85 \times 10^{-2}}}$$

$$= 376.8 \quad \text{โอห์ม}$$

เมื่อคลื่นวิทยุเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางอื่นจะทำให้คลื่นวิทยุเคลื่อนที่ช้าลงแต่ความถี่ยังคงเท่าเดิมและส่งผลทำให้ความยาวคลื่นลดลงด้วย

2.1.2 การเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุผ่านสายโคแอกเซียล

เมื่อคลื่นวิทยุเคลื่อนที่ผ่านสายโคแอกเซียลความเร็วของคลื่นจะลดลง โดยค่า Relative dielectric constant (ϵ_r) ที่เป็นส่วนหนึ่งของสายโคแอกเซียล แสดงดังสมการที่ (2.8)

$$v_p = c/\sqrt{\epsilon_r} \quad (2.8)$$

คุณสมบัติที่สำคัญของสายโคแอกเซียล คือ มีค่าอิมพีแดนซ์เฉพาะ (Characteristic line impedance) แสดงดังสมการที่ (2.9) และค่าอิมพีแดนซ์เฉพาะนี้มีที่ค่าคงที่ทุกความยาวสาย ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้จะถูกนำไปใช้ในการส่งกำลังของคลื่นวิทยุ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดต่อไป

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_0 \mu_r}{\epsilon_0 \epsilon_r}} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (2.9)$$

2.1.3 การเคลื่อนที่ของคลื่นวิทยุในไมโครสตริปไลน์

การเคลื่อนที่ของคลื่นความถี่วิทยุในไมโครสตริปไลน์ คล้ายกับการเคลื่อนที่ของคลื่นความถี่วิทยุ ข้อดีของ ไมโครสตริป คือ สามารถกำหนดค่าอิมพีแดนซ์เฉพาะได้ ทำให้ยืดหยุ่นต่อการนำไปใช้ ค่าอิมพีแดนซ์เฉพาะของไมโครสตริปสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.10)

$$Z_0 = \frac{Z_f}{\sqrt{\epsilon_{eff} \left(1.393 + \frac{w}{h} + \frac{2}{3} \ln\left(\frac{w}{h} + 1.444\right) \right)}} \quad (2.10)$$

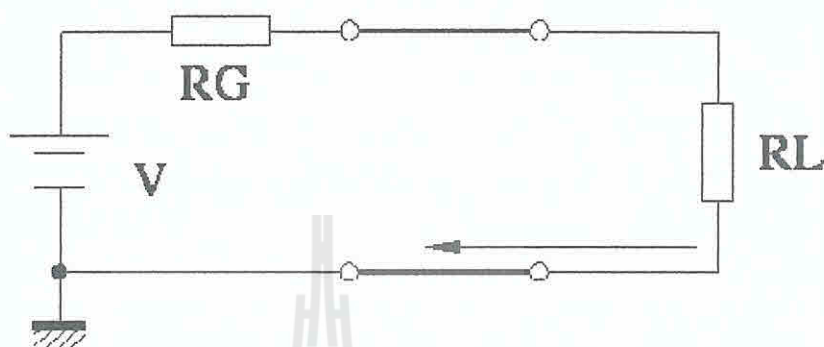
$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w} \right)^{-1/2} \quad (2.11)$$

และความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นความถี่วิทยุในไมโครสตริป สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.12)

$$v_p = c/\sqrt{\epsilon_{eff}} \quad (2.12)$$

2.2 การส่งกำลังคลื่นความถี่วิทยุ

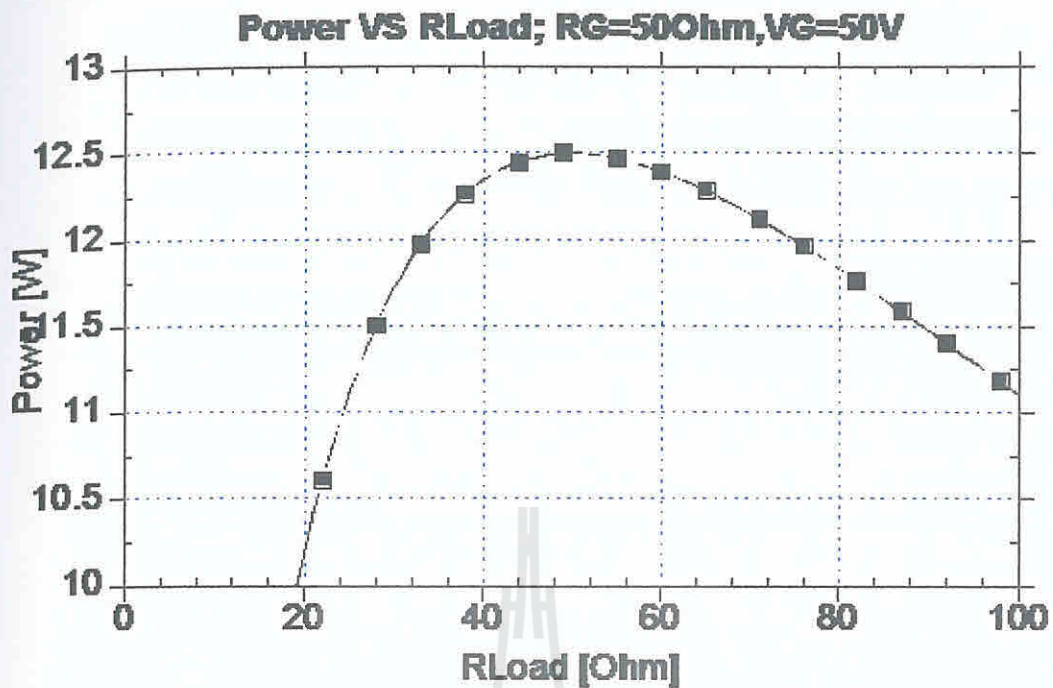
การส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลดให้ได้มากที่สุด อิมพีแดนซ์ระหว่างแหล่งจ่ายกับอิมพีแดนซ์ของโหลดจะต้องเท่ากัน สามารถอธิบายด้วยรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงวงจรส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลด

จากรูปที่ 2.1 จะกำหนดให้อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย R_G มีค่าคงที่ 50 โอห์ม แล้วทำการปรับค่าอิมพีแดนซ์ของโหลด R_L แล้วหาค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด R_L ด้วยสมการที่ (2.13) โดยที่แหล่งจ่ายมีแรงดัน V เท่ากับ 50 โวลต์ เมื่อนำมาเขียนกราฟจะแสดงให้เห็นว่ากำลังที่โหลดจะมากที่สุดเมื่ออิมพีแดนซ์ของโหลดเท่ากับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย แสดงดังรูปที่ 2.2

$$P_{RL} = R_L \left(\frac{V}{R_G + R_L} \right)^2 \quad (2.13)$$



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่โหลดเทียบกับอิมพีแดนซ์ของ โหลด

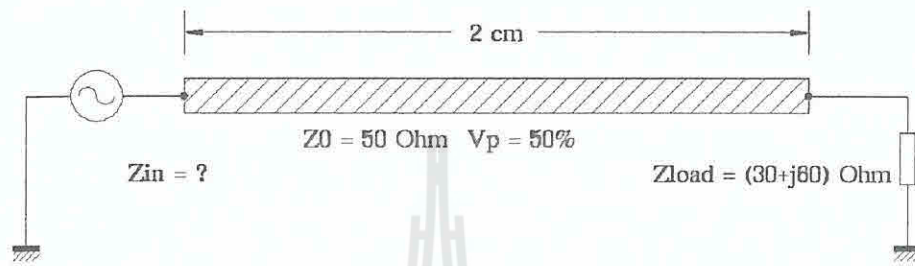
เมื่อเราส่งกำลังคลื่นความถี่วิทยุผ่านสายส่งก็จะต้องให้อิมพีแดนซ์ที่ต้นสายของสายส่งมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย และอิมพีแดนซ์ของโหลดจะต้องเท่ากับอิมพีแดนซ์เฉพาะของสายส่ง ถ้าอิมพีแดนซ์ของโหลดไม่เท่ากับอิมพีแดนซ์เฉพาะของสายส่งจะต้องมีแมตซ์ซิ่งเน็ตเวิร์คซึ่งมีหลายวิธี เช่นการแมตซ์โดยใช้สายโคแอกเชียล, การแมตซ์โดยใช้ไมโครสตริป และ การแมตซ์โดยใช้แมตซ์ซิ่งเน็ตเวิร์คเป็นต้น

วิธีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ส่วนใหญ่จะเริ่มต้นจากอิมพีแดนซ์ของโหลดถัดมาจะพิจารณาอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายส่งว่ามีค่าตามที่ต้องการแล้วหรือไม่เมื่อปรับแต่งพารามิเตอร์ต่างๆ ค่าความยาวทางไฟฟ้า , อิมพีแดนซ์เฉพาะ และค่าความจุในกรณีแมตซ์ด้วย คาปาซิเตอร์ เป็นต้น สมการที่ใช้หาอินพุตอิมพีแดนซ์สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.14)

$$Z_{in}(d) = Z_0 \left(\frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta d)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta d)} \right) \text{ เมื่อ } \beta = \frac{2\pi}{\lambda}, d = \text{Electrical length} \quad (2.14)$$

2.3 การวิเคราะห์หิมพีแดนซ์โดยใช้สมิธชาร์ต

การหาอินพุตอิมพีแดนซ์โดยใช้สมิธชาร์ต เป็นวิธีที่สะดวก ซึ่งจะพิจารณาจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ ยกตัวอย่าง เช่น การหาอินพุตอิมพีแดนซ์ Z_{in} เมื่อโหลดอิมพีแดนซ์ $Z_L = (30 + j60)$ โอห์ม ถูกต่อเข้าด้วยกันกับ สายส่งสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์เฉพาะ 50 โอห์ม และมี $V_p = 50\%$ โดยระบบนี้ทำงานที่ความถี่ 2 กิกะเฮิร์ตซ์ แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรที่ใช้ในการหาอินพุตอิมพีแดนซ์

วิธีการ หา Z_{in} โดยการคำนวณจากสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ Γ_{in}

1. หาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่โหลด Γ_0 โดยใช้สมการ ที่ (2.15)

$$\Gamma_0 = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \Gamma_{0r} + \Gamma_{0i} = |\Gamma_0| e^{j\theta_L} \quad (2.15)$$

$$\Gamma_0 = \frac{Z_L + Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$= \frac{30 + j60 - 50}{30 + j60 + 50}$$

$$= 0.2 + j0.6 = |0.6325| e^{j71.56^\circ}$$

สามารถเขียน Γ_0 ให้อยู่ในรูปที่เข้าใจได้ง่ายจะได้ $\Gamma_0 = 0.6325 \angle 71.56^\circ$

2. คำนวณหาค่า β จากเงื่อนไขที่กำหนดข้างต้นด้วยสมการที่ (2.16)

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{V_p} \quad (2.16)$$

$$= \frac{2 \times 3.14 \times 20 \times 10^8}{0.5 \times 2.997 \times 10^8}$$

$$= 83.77$$

ดังนั้นจะได้ $2\beta d = 191.99^\circ$

3. คำนวณสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับที่ต้นทางของสายส่งด้วยสมการที่ (2.17)

$$\Gamma_{in} = |\Gamma_0| e^{j\theta_0} e^{-j2\beta d} \quad (2.17)$$

$$= |0.6325| e^{j71.56^\circ} e^{-j191.99^\circ}$$

$$= |0.6325| e^{-j120.43^\circ}$$

จะได้ $\Gamma_{in} = |0.6325| \angle -120.43$

4. คำนวณหาอินพุตอิมพีแดนซ์ Z_{in} ด้วยสมการที่ (2.18)

$$Z_{in} = Z_0 \frac{1 + \Gamma_{in}}{1 - \Gamma_{in}} \quad (2.18)$$

$$= R + jX$$

$$= 14.7 - j26.7 \quad \text{โอห์ม}$$

วิธีการ หา Z_m โดยใช้สมิธชาร์ต

1. นอร์มอไลซ์โหลดอิมพีแดนซ์ตั้งสมการที่ (2.19)

$$z_L = (30 + j60)/50 = 0.6 + j1.2 \quad (2.19)$$

2. แล้ววางจุดลงบนสมิธชาร์ตที่ตำแหน่ง $r = 0.6$ และ $x = 1.2$ แสดงดังรูปที่ 2.4

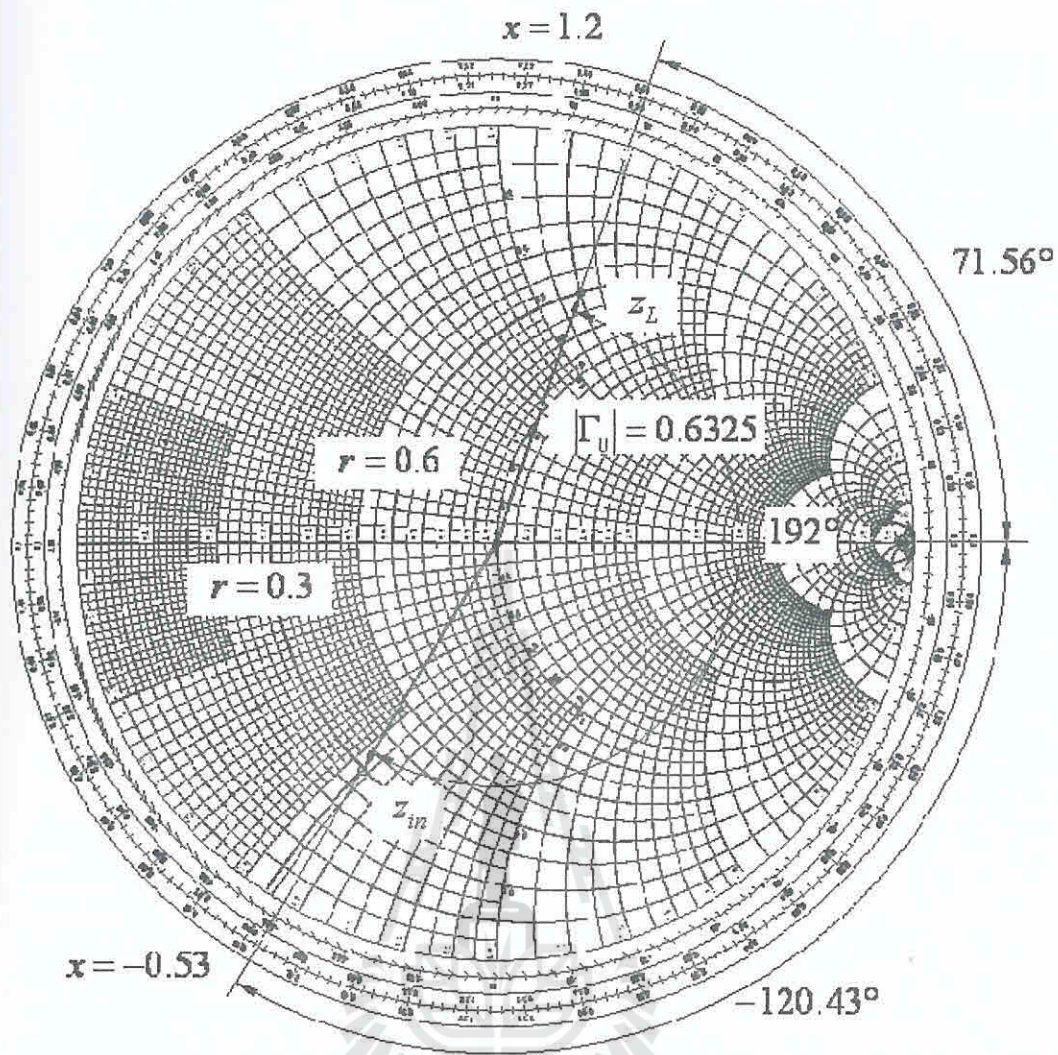
3. และจะได้ Γ_0 ที่นอร์มอไลซ์แล้วซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 สามารถวัดมุมได้ 71.56°

4. แล้วทำการหมุน Γ_m (Γ_m มีแมกนิจูดเท่ากับ Γ_0) ด้วยมุมประมาณ 192° ตามเงื่อนไขที่กำหนดข้างต้น $2\beta d = 191.99^\circ$

5. จะพบว่าที่จุดนี้บนสมิธชาร์ตมีอินพุตอิมพีแดนซ์ $z_m = 0.3 - j0.53$ โอห์ม

6. แปลงค่า z_m ที่ถูกนอร์มอไลซ์มาแล้วโดยการคูณด้วย 50 จะได้ Z_m ประมาณ $15 - j26.5$ โอห์ม





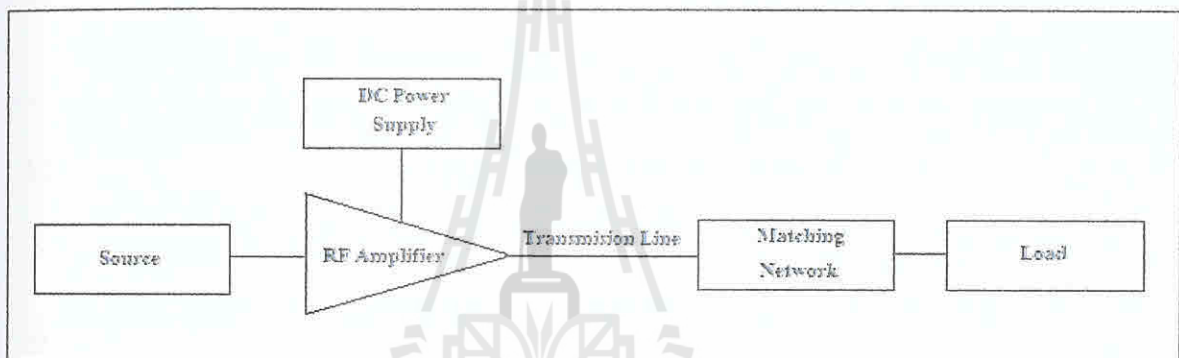
รูปที่ 2.4 แสดงการหา Z_m โดยใช้สมิธชาร์ต

บทที่ 3

วงจรรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในย่านความถี่เอ็ฟเอ็ม กำลัง 1000 วัตต์

3.1 ระบบทั่วไปของการใช้งานคลื่นวิทยุ

การใช้งานคลื่นความถี่วิทยุด้านต่างๆ เช่น ใช้ในการกำเนิดพลาสมา, อุตสาหกรรมไม้ และการสื่อสาร เป็นต้น ระบบคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้งานนี้จะประกอบด้วยส่วนต่างๆแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดง โค้ดแอมของระบบคลื่นความถี่วิทยุพื้นฐาน

ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 แหล่งกำเนิดคลื่นวิทยุ ในที่นี้หมายถึง อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สร้างความถี่, มอดูเลตสัญญาณ, ควบคุมกำลัง และมีปริแอมป์ในตัว

3.1.2 เครื่องขยายกำลังคลื่นวิทยุ ทำหน้าที่ขยายกำลังคลื่นวิทยุ หรือแปลงกำลังไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกำลังคลื่นวิทยุที่มีความถี่เดียวกันกับสัญญาณที่นำมาขยาย

3.1.3 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำลังของเครื่องขยายกำลังคลื่นวิทยุ

3.1.4 สายส่งกำลังคลื่นวิทยุ ทำหน้าที่เป็นเส้นทางในการส่งกำลังคลื่นวิทยุ

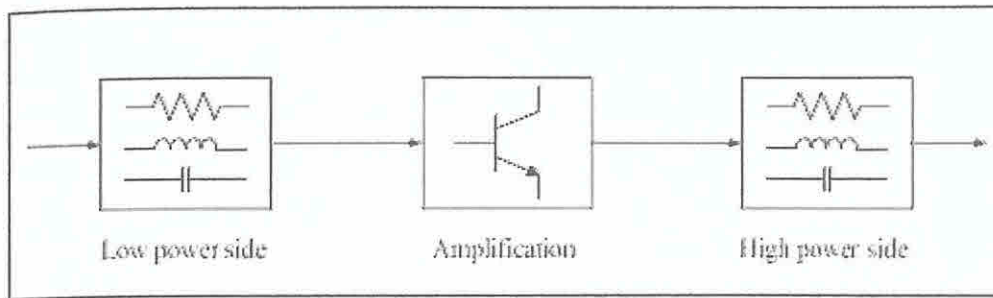
3.1.5 แมตซ์ซิ่งเน็ตเวิร์ค แบบปรับค่าได้ หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้ปรับอิมพีแดนซ์ระหว่างเครื่องขยายกำลังคลื่นวิทยุกับโหลด ใช้เมื่ออิมพีแดนซ์ทั้งสองมีค่าต่างกัน หรืออิมพีแดนซ์ของโหลดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เป็นต้น

3.1.6 โหลด ทำหน้าที่แปลงกำลังคลื่นวิทยุเป็นอีกพลังงาน เช่น สนามไฟฟ้า, สนามแม่เหล็ก, คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และ ความร้อน เป็นต้น

3.2 วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ

วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ต้องการพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter) ของมอสเฟตเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ โดยต้องพิจารณาถึงเสถียรภาพของวงจร อัตราขยายกำลัง กำลังเอาต์พุต ซึ่งต้องเลือกคุณสมบัติและชนิดของมอสเฟตให้เหมาะสมทั้งการออกแบบ โครงข่ายแมตซ์ซิ่ง ทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุตเพื่อให้ได้วงจรขยายสัญญาณความถี่สูงที่มีประสิทธิภาพและอัตราขยายกำลังสูงมากที่สุด

ลักษณะโดยทั่วไปของวงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุที่ออกแบบเป็นลักษณะเป็นภาคส่วน โดยประกอบด้วยภาคอินพุตของวงจรขยายสัญญาณ ภาคขยายสัญญาณและภาคเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งในภาคขยายกำลังจะต้องมีการออกแบบวงจรไบแอสให้เหมาะสมเพื่อการทำงานของวงจรอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และการออกแบบโครงข่ายแมตซ์ซิ่งทั้งภาคอินพุตและเอาต์พุต โดยลักษณะของวงจรโครงข่ายแมตซ์ซิ่งประกอบด้วย ค่าความต้านทาน(R), ตัวเก็บประจุ(C) และตัวเหนี่ยวนำ(L) ซึ่งในรูปที่ 3.2 เป็นบล็อกไดอะแกรมลักษณะโดยทั่วไปของวงจรขยายสัญญาณ โดยด้านอินพุตเป็นวงจรกำลังงานต่ำและด้านเอาต์พุตเป็นส่วนขยายกำลังสูง



รูปที่ 3.2 คุณลักษณะทั่วไปของวงจรขยายสัญญาณ

3.2.1 คุณลักษณะวงจรขยายสัญญาณ

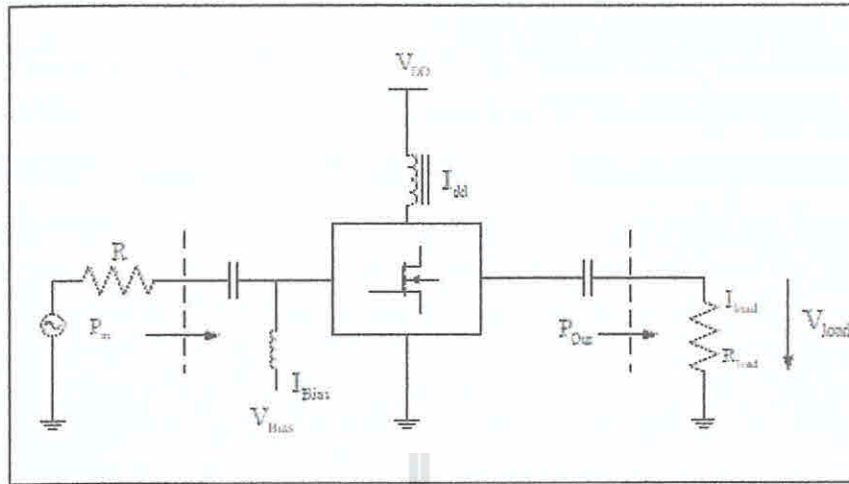
สิ่งสำคัญสำหรับคุณลักษณะวงจรขยายสัญญาณคือความเป็นเชิงเส้น

ประสิทธิภาพของวงจรขยายสัญญาณ ความสามารถในการขยายสัญญาณเอาต์พุต และอัตราขยายสัญญาณ วงจรขยายสัญญาณจะมีลักษณะที่เป็นเชิงเส้นถ้าสัญญาณอินพุตและกำลังขยายสัญญาณเอาต์พุตมีลักษณะสัญญาณที่เป็นไปในทางเดียวกันซึ่งจะมีลักษณะการแปรผันตรงตามสมการที่ 3.1

$$V_o(t) = AV_i(t) \quad (3.1)$$

เมื่อ $V_o(t)$ คือ สัญญาณเอาต์พุต
 $V_i(t)$ คือ สัญญาณอินพุต
 A คือ อัตราขยายคงที่

โดยทั่วไปวงจรขยายสัญญาณจะมีลักษณะ 2 รูปแบบคือวงจรที่เป็นเชิงเส้น (linear amplifier) และไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear amplifier) สำหรับวงจรในรูปที่ 3.3 เป็นลักษณะรูปแบบทั่วไปของวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งอัตราขยายสัญญาณ (gain) ที่ได้จากวงจรสามารถหาได้จากสมการที่ 3.2 คือส่วนที่เห็นได้ชัดเจนจากการขยายสัญญาณ โดย P_{in} เป็นกำลังสัญญาณตรงพอร์ต์อินพุตของวงจรและ P_{out} เป็นกำลังขยายสัญญาณเอาต์พุตฝั่งโหลด ซึ่งจะมีค่าความต้านทานโหลด R_{load} โดยที่ P_{out} สามารถพิจารณาจากรูปที่ 3.3 และสามารถคำนวณหาค่าได้จากส่วนประกอบพื้นฐานจากโหลดกระแส I_{load} และ โหลดแรงดัน V_{load} ดังแสดงในสมการที่ 3.3



รูปที่ 3.3 รูปวงจรรขยายสัญญาณ

$$\text{Gain} = 10 \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \quad \text{dB} \quad (3.2)$$

$$P_{out} = I_{load} V_{load} \quad (3.3)$$

การกระจายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากสองสิ่งประกอบกันจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (power-supply) ซึ่งจะประกอบด้วย V_{dd} และ I_{dd} และส่วนอื่นๆ ที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไบอัส (V_{Bias}) และ (I_{Bias}) ซึ่งกำลังเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสามารถหาได้จากสมการที่ 3.4

$$P_{dc} = (V_{Bias} \times I_{Bias}) + (V_{dd} \times I_{dd}) \quad (3.4)$$

การออกแบบวงจรรขยายสัญญาณ คือ การออกแบบเพื่อต้องการได้ประสิทธิภาพ (efficiency) ที่ดีที่สุด โดยได้จากการเปรียบเทียบระหว่างกำลังสัญญาณเอาต์พุตของวงจรและค่าของกำลังเอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถหาค่าประสิทธิภาพของวงจรรขยายสัญญาณเป็นค่าในรูปของเปอร์เซ็นต์ได้จากสมการที่ 3.5

$$\text{Efficiency} = \left(\frac{P_{out}}{P_{dc}} \right) \times 100\% \quad (3.5)$$

3.2.2 เสถียรภาพของวงจรถยายสัญญาณ

เสถียรภาพของวงจรถยายสัญญาณเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องการพิจารณาในการออกแบบวงจรถยายสัญญาณ โดยสามารถพิจารณาได้จากพารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter) ซึ่งการตรวจสอบเสถียรภาพของวงจรถยายสัญญาณจะพิจารณาจากค่า K (rollett stability factor) ดังสมการที่ 3.6 โดย Δ มีค่าดังสมการที่ 3.7

$$K = \left(\frac{1 + |\Delta|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2 \times |S_{11}| \times |S_{22}|} \right) \quad (3.6)$$

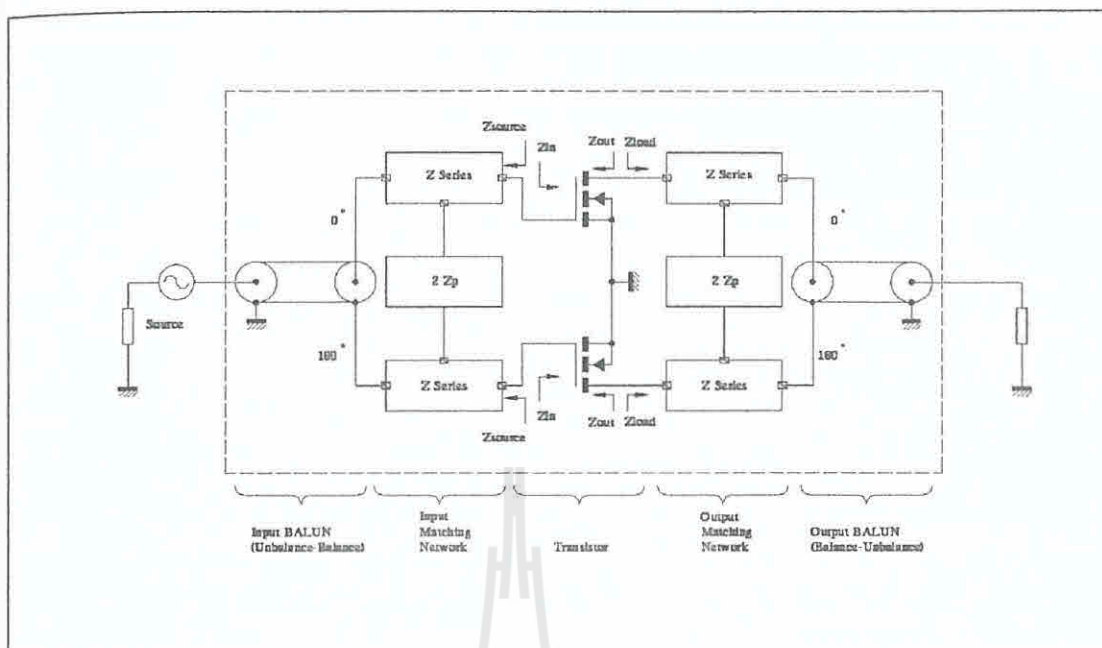
$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (3.7)$$

ในการตรวจสอบเสถียรภาพของวงจรถยายสัญญาณพิจารณาค่า K จากสมการที่ 3.6 ซึ่งถ้าค่า $K > 1$ จะเป็นไปได้ตามเงื่อนไขในการออกแบบวงจรถยายสัญญาณ และถ้าค่า $K < 1$ จะทำให้ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขต่อการออกแบบวงจรถยายโดยจะทำให้วงจรที่ออกแบบมีการออสซิลเลตตัวเองขึ้น ซึ่งต้องใช้วิธีแก้ด้วยการออกแบบวงจรการป้อนกลับแบบลบ (negative feedback) เพื่อป้องกันการออสซิลเลตหรือใช้วิธีอื่นๆ

3.3 โครงสร้างของวงจรถยายสัญญาณคลื่นวิทยุแบบ พูช-พูล (Push-Pull)

หลักการการทำงานของวงจรถยายสัญญาณแบบ Push-pull นิยมใช้ทรานซิสเตอร์ชนิดเดียวกันสองตัวแบ่งกันขยายสัญญาณตัวละครึ่งคาบทำให้ได้อัตราการขยายกำลังสูงขึ้น โดยใช้ บาลัน (BALAN : BALance / UNbalance) เป็นอุปกรณ์ในการแบ่งสัญญาณอินพุตเป็นสองส่วนที่มีเฟสของสัญญาณอินพุตต่างกัน 180 องศา พร้อมทั้งแปลงอิมพีแดนซ์ Unbalance 50 โอห์ม เป็น Balance 25 โอห์ม สองสัญญาณ หลังจากนั้นอินพุตแมตซ์ซึ่งเน็ตเวิร์คทำหน้าที่แมตซ์สัญญาณ Balance 25 โอห์ม กับ อินพุตอิมพีแดนซ์ของทรานซิสเตอร์ การแมตซ์สัญญาณระหว่างทรานซิสเตอร์ไปยังโหลดก็อาศัยหลักการนี้เช่นเดียวกัน โครงสร้างของวงจรถยายชนิดนี้สามารถแสดงโครงสร้างดังรูปที่

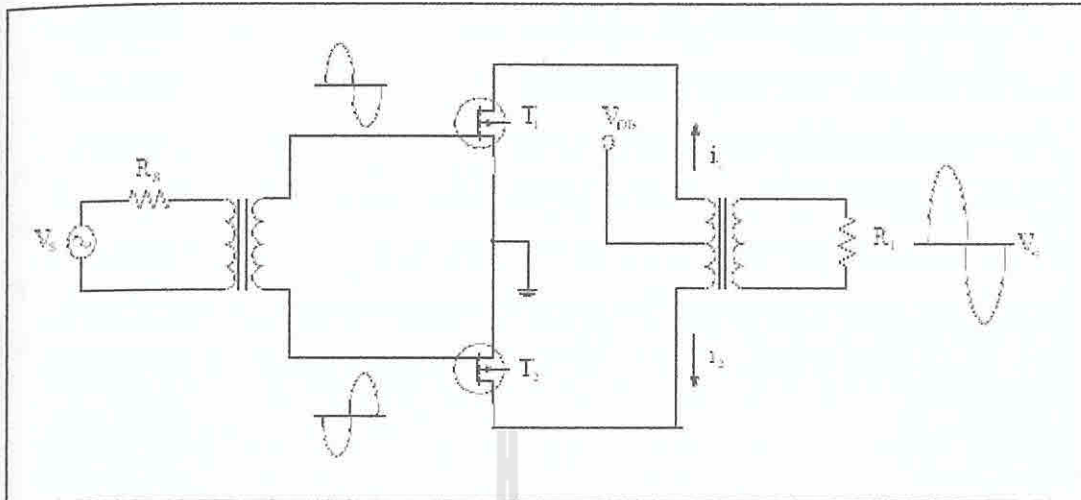
3.4



รูปที่ 3.4 แสดง โครงสร้างของวงจรขยายกำลังคลื่นวิทยุแบบพุช - พูล

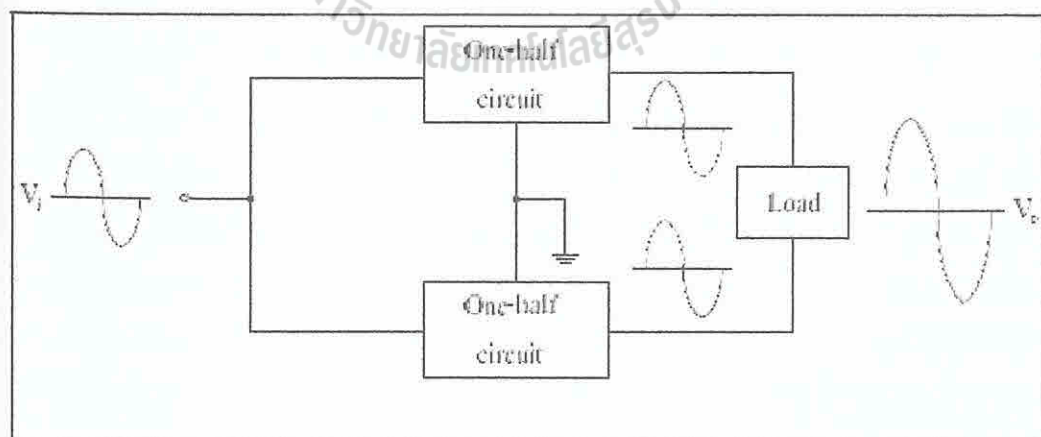
3.3.1 วงจรขยายสัญญาณคลาสเอบีแบบพุชพูล

ลักษณะการทำงานของวงจรขยายสัญญาณคลาสเอบี (class AB power amplifier circuit) มอสเฟตในวงจรขยายคลาสเอบีจะนำกระแสเพียงครึ่งคาบเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้สัญญาณออกไม่มีความเพี้ยน จึงจำเป็นต้องใช้มอสเฟต 2 ตัว ให้นำกระแสตัวละครึ่งคาบสลับกัน วงจรชนิดนี้เรียกว่า วงจรพุชพูล (push-pull circuit) ลักษณะของวงจรแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรขยายสัญญาณคลาสเอบีแบบพุชพูล

วงจรขยายแบบ Push Pull ในรูปที่ 3.5 ใช้มอสเฟตชนิดเดียวกัน 2 ตัว แต่ละตัวส่งสัญญาณออกทางคอลเลกเตอร์เข้าสู่โหลดห้มื่อแปลงสำหรับทางด้านอินพุตจะขับมอสเฟตแต่ละตัวสลับกันทำให้มอสเฟต T_1 และ T_2 ผลักกันนำกระแสตัวละ 180° สำหรับกระแสที่ไหลในโหลด ซึ่งเป็นผลรวมของกระแสของมอสเฟตทั้งสองจะไหลตลอดคาบได้ เพื่อง่ายต่อการเข้าใจพิจารณาตามรูปที่ 3.6 ดังนี้



รูปที่ 3.6 ลักษณะการทำงานวงจรขยายคลาสเอบีแบบพุชพูล

จากรูปวงจรรขยายสัญญาณคลาสเอบีแบบ Push Pull กำลังเอาต์พุตซึ่งเป็นผลรวม กำลังขยายสัญญาณจากมอสเฟตทั้งสองรวมกันที่โหลดสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 3.3 และ สำหรับกำลังทางค่านแหล่งจ่ายอินพุตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เป็นแหล่งจ่ายให้กับมอสเฟตทั้งสองตัวสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 3.4 สำหรับประสิทธิภาพของวงจรรขยายคลาสเอบีเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาเพื่อการวิเคราะห์และปรับปรุงวงจรให้ดีที่สุด โดยสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 3.5 และสำหรับอัตราขยายสัญญาณซึ่งบอกถึงการขยายกำลังของสัญญาณของวงจรซึ่งสามารถวิเคราะห์และพิจารณาได้จากสมการที่ 3.2

3.4 การออกแบบวงจรรขยายสัญญาณคลื่นวิทยุแบบ พูช-พูล ความถี่ 98 เมกะเฮิรตซ์กำลัง 1000 วัตต์

3.4.1 คลาสของวงจรรขยาย

ในการออกแบบวงจรรขยายสัญญาณคลื่นวิทยุความถี่ในย่าน FM Band นี้ จะเลือกใช้ วงจรรขยายคลาสเอบี ซึ่งวงจรคลาสเอบี คือ วงจรรขยายที่มีการไบแอสทรานซิสเตอร์ในช่วงระหว่างครึ่งคาบกับเต็มคาบหรือมากกว่าครึ่งคาบ แต่ไม่เกิน 1 คาบ และมีประสิทธิภาพกำลังของการขยาย 50% หรือจะพูดได้ว่าเป็นการรวมเอาาระหว่างจุดหรือข้อดีและข้อด้อย ของทั้ง คลาสเอ และ คลาสบี เข้าด้วยกันนั่นเอง โดยที่คุณสมบัติของแต่ละคลาสจะเป็นดังนี้

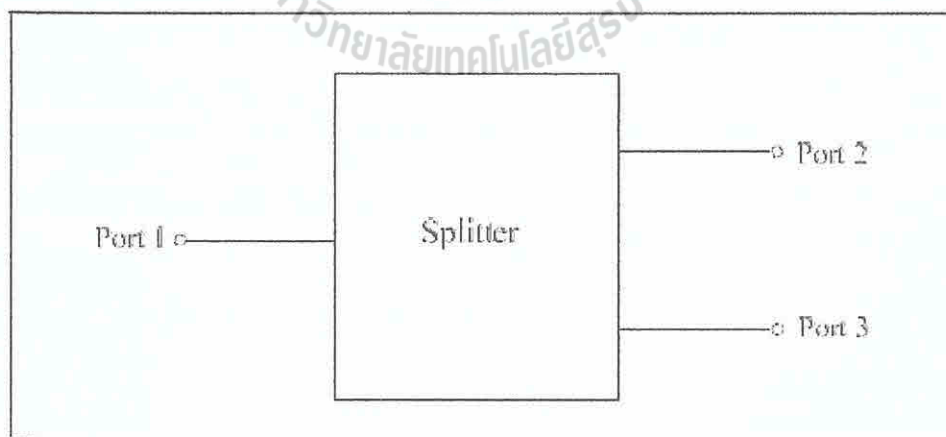
- วงจรรขยายคลาสเอ (Class A) คือ วงจรรขยายที่มีการไบแอสทรานซิสเตอร์ตลอดไซเคิล หรือ 1 คาบเวลาของสัญญาณอินพุต ซึ่งจุดเด่นและจุดด้อยของวงจรรขยายคลาสเอ คือ เกิดความเพี้ยนของสัญญาณและมีสัญญาณรบกวนค่อนข้างต่ำ แต่จะมีข้อเสียในด้านความร้อนที่จะเกิดอุณหภูมิค่อนข้างสูงเนื่องจากการป้อนกระแสไฟอยู่ตลอดเวลา
- วงจรรขยายคลาสบี (Class B) คือ วงจรรขยายที่มีการไบแอสทรานซิสเตอร์ครึ่งไซเคิลของสัญญาณอินพุตมีประสิทธิภาพกำลังของการขยาย 78.5% โดยจะใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวสลับกันทำงาน ซึ่งจุดเด่นและจุดด้อยของวงจรรขยายคลาสบี คือ ไม่ร้อนง่าย แต่จะเกิดความเพี้ยนของสัญญาณและมีการรบกวนของสัญญาณค่อนข้างมาก

จะเห็นได้ว่าวงจรขยายคลาสเอและคลาสบีนั้นจะมีจุดเด่นและจุดด้อยที่แตกต่างกัน ซึ่งวงจรคลาสเอเป็นการเอาจุดเด่นและจุดด้อยของคลาสเอและคลาสบีมารวมกัน นั่นก็จะสรุปได้ว่า วงจรขยายคลาสเอบีนั้น จะใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวในการทำงาน ซึ่งการทำงานของทรานซิสเตอร์จะเหมือนคลาสบี แต่จะป้อนกระแสไฟในปริมาณที่ต่ำกว่าของคลาสเอ จึงได้ข้อดีของทั้งสองคลาส คือ จะไม่เกิดความร้อนมาก และเกิดความเพี้ยนของสัญญาณและมีสัญญาณรบกวนค่อนข้างต่ำ

3.4.2 บาลัน (BALUN)

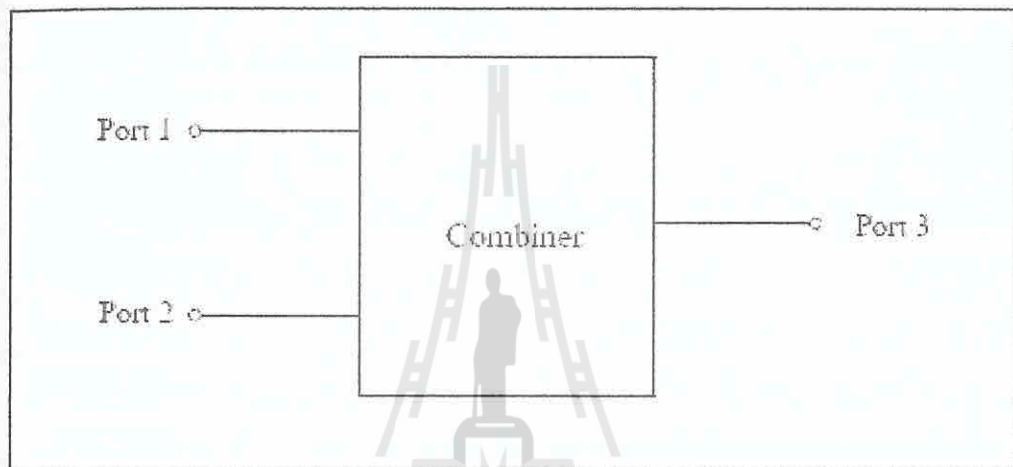
บาลันมีหน้าที่ในการแยกสัญญาณและรวมสัญญาณ ลักษณะของบาลันนั้นจะมีหลายรูปแบบ ซึ่งการออกแบบและการสร้างอาจจะมีหลายแบบ เช่น การออกแบบโดยใช้หม้อแปลง จะใช้ในระบบที่ความถี่ต่ำ กำลังงานสูง และการออกแบบโดยใช้สายโคแอกเซียลจะใช้ได้ที่มีความถี่กลางระดับเมกะเฮิร์ตซ์ และการออกแบบโดยใช้แผ่นวงจรพิมพ์ เป็นวงจรแบบไมโครสตริปเหมาะกับการใช้กับความถี่สูงหรือช่วงกำลังงานไม่สูงมากนัก

ลักษณะวงจรแยกสัญญาณ (Splitter) เป็นการแยกสัญญาณออกเป็นสองทางหรือหลายทางก็ได้แล้วแต่ความต้องการที่ออกแบบ แต่ต้องพิจารณาถึงอิมพีแดนซ์ของวงจรซึ่งคือการแมตช์ซิ่งของสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต ทั้งนี้ขนาดของสัญญาณก็จะลดลงตามจำนวนการแยกของสัญญาณด้วย ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.7 เป็นบล็อกไดอะแกรมของวงจรการแยกสัญญาณจาก 1 เป็น 2 ทาง สำหรับเป็นสัญญาณอินพุตให้กับภาควงจรอื่น



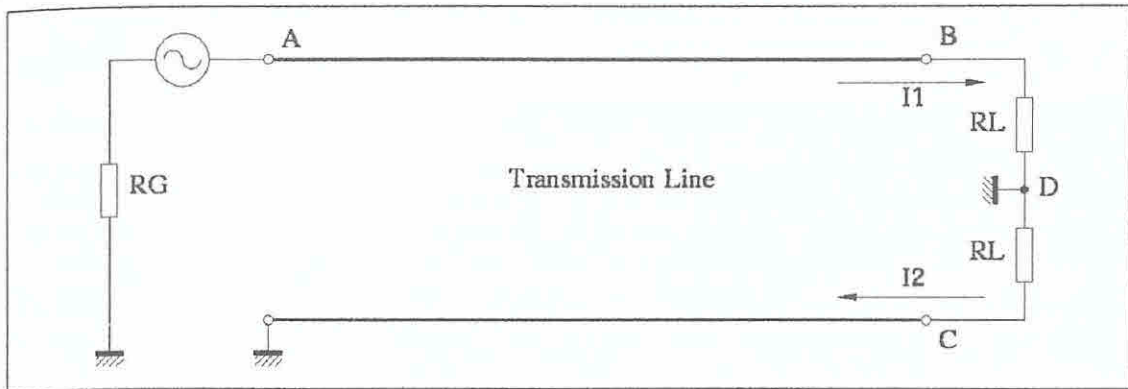
รูปที่ 3.7 ลักษณะของวงจรแยกสัญญาณ

ลักษณะวงจรรวมสัญญาณ (Combiner) เป็นการรวมสัญญาณจากสองทิศทางหรือหลายทิศทางให้เป็นสัญญาณรวมเพียงสัญญาณเดียว ซึ่งต้องพิจารณาถึงอิมพีแดนซ์ของวงจรของสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตเช่นเดียวกับวงจรแยกสัญญาณ ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งจะ เป็นบล็อกไดอะแกรมรวมสัญญาณของการรวมสัญญาณจาก 2 สัญญาณเป็นทิศทางเดียวเพื่อให้ได้ค่ากำลังรวมทั้งหมดของวงจร ซึ่งทางเอาต์พุตอิมพีแดนซ์จะต้องมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ที่เข้าแมตซ์ เพื่อให้ได้กำลังงานสูงสุดและมีการสูญเสียที่น้อยที่สุด



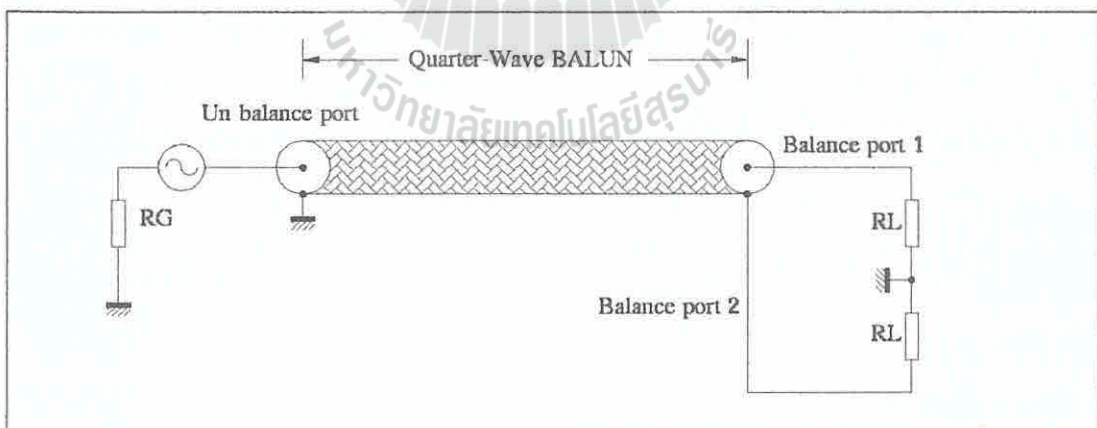
รูปที่ 3.8 ลักษณะของวงจรรวมสัญญาณ

และในวงจรขยายสัญญาณคลื่นวิทยุแบบ พูช-พูล ต้องการสัญญาณ อินพุตสอง ส่วนและมีเฟสของกระแสต่างกัน 180 องศา โดยใช้บาลันเป็นตัวแยกสัญญาณและรวมสัญญาณ หลักการทำงานของ บาลัน สามารถอธิบายได้โดยพิจารณาการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าในสายส่ง เช่น สายโคแอกเซียล (Coaxial Cable) แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการทำงานของบาลัน

จากรูป พิจารณาที่ปลายสายส่ง จุด B และ จุด C ที่เวลาค่าหนึ่ง กระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่ โหลด RL จุด B และกระแสที่ไหลออกจากโหลด จุด C จะมีปริมาณเท่ากัน แต่ทิศทางการไหลของกระแสเมื่อเทียบกับกราวด์ ที่จุด D จะพบว่ามันทิศตรงกันข้าม หรือกล่าวได้ว่าเฟสของกระแสมีความแตกต่างกัน 180 องศา ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้เป็นสิ่งที่เราต้องการเป็นประการแรกในการสร้างบาลัน ประการที่สองที่อาจจะคำนึงในการสร้างบาลันคือ ความยาวของสายส่งหรือความยาวของบาลัน ที่จะมีผลต่อเฟสของกระแส พิจารณารูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงโครงสร้างของบาลัน

การหาความยาวสายของบาลันนั้นส่วนใหญ่จะนิยมใช้ความยาวที่ $\lambda/4, \lambda/8, \lambda/16 \dots$ แต่ก็สามารถเลือกใช้ความยาวที่ใดๆ ก็ได้ตามความเหมาะสม และสามารถคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าได้จากสูตรสมการสายส่ง ดังนี้

$$L = 460.517 \times \log\left(\frac{b}{a}\right) \quad \dots \quad \text{nH/m} \quad (3.8)$$

$$C = \frac{24.16 \times \epsilon_r}{\log\left(\frac{b}{a}\right)} \quad \dots \quad \text{pF/m} \quad (3.9)$$

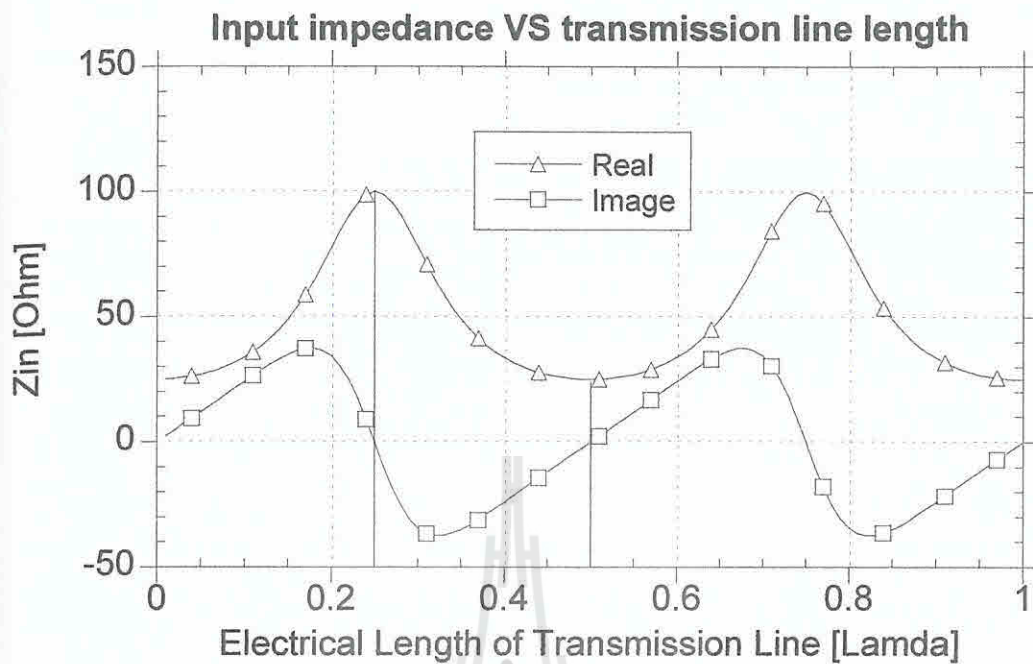
โดยที่ b คือ เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของสาย Coaxial
 a คือ เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของ Conductor

จากสมการ 3.8 จะได้ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าต่อความยาวสาย 1 เมตร และจากสมการที่ 3.9 จะได้ค่าความจุไฟฟ้าของความยาวสายที่เราต้องการ เพราะฉะนั้นเราก็สามารถนำค่าที่ได้ไปหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าตามความยาวสายของบาลันที่เราต้องการ

และในการแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์โดยใช้ความยาวของสายส่ง เมื่อ โหลดมีอิมพีแดนซ์ต่างจาก อิมพีแดนซ์เฉพาะของสายส่งสามารถหาได้ด้วยสมการ

$$Z_m(d) = Z_0 \left(\frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta d)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta d)} \right) \quad \text{เมื่อ } \beta = \frac{2\pi}{\lambda}, d = \text{Electrical length} \quad (3.10)$$

ค่าความยาวที่นิยมใช้ คือ $\lambda/4, \lambda/8, \lambda/16 \dots$ เพราะที่ความยาวเหล่านี้อินพุตอิมพีแดนซ์มีเฉพาะค่าจริง ($Z_m = (R + jX)[\Omega] = (R + j0)[\Omega] = R[\Omega]$) ยกตัวอย่าง เช่น เมื่อใช้สายส่งที่อิมพีแดนซ์เฉพาะ 50 โอห์ม จะสามารถแมตซ์อิมพีแดนซ์จาก 100 โอห์ม เป็น 25 โอห์ม ที่ความยาวสายส่งเท่ากับ $\lambda/4$ เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 3.11

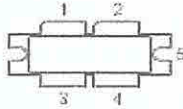
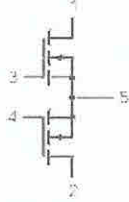


รูปที่ 3.11 แสดงอินพุตอิมพีแดนซ์เทียบกับความยาวของสายส่ง

ในการออกแบบบอดี้ ครั้งนี้จะไม่คำนึงถึงความยาวของบอดี้ เพราะนอกจากความยาวของอินพุตบอดี้แล้วยังมีตัวแปรอื่นๆ ที่ทำให้เฟสของกระแสเปลี่ยนไป ส่วนเงื่อนไขการแมตซ์อิมพีแดนซ์เนื่องจากความยาวของบอดี้ไม่ต้องนำมาพิจารณาเพราะอินพุตอิมพีแดนซ์ของอินพุตแมตซ์ซึ่งเน็ตเวิร์คแต่ละซีกมีค่าเป็น 25 โอห์ม เมื่อรวมกันแล้วจะเป็น 50 โอห์ม ซึ่งจะแมตซ์กับ บอดี้ที่มีอิมพีแดนซ์เฉพาะเท่ากับ 50 โอห์ม ทุกความยาว

3.4.3 มอสเฟตทรานซิสเตอร์ (MOSFET: Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)

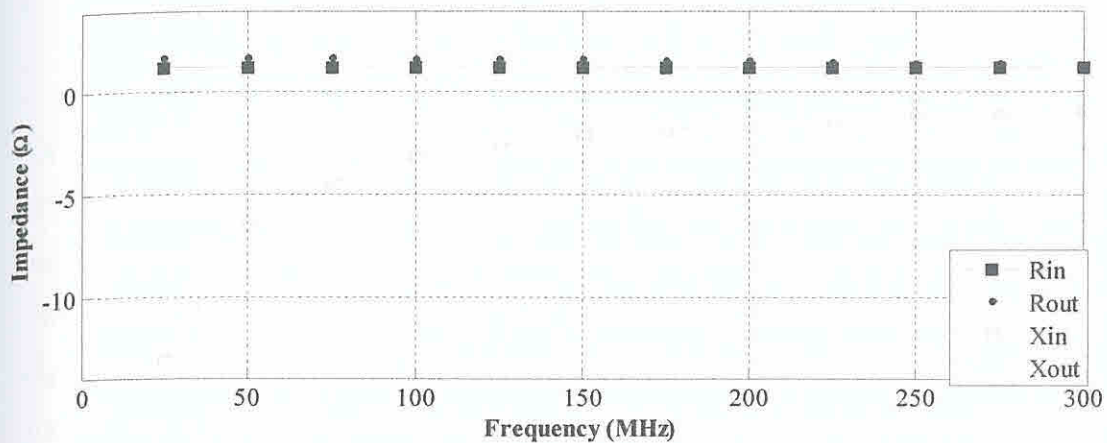
การออกแบบวงจรรขยายแบบพวง-พวง ครั้งนี้ให้มอสเฟตชนิด LDMOS เบอร์ BLF 578 ซึ่งมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 3.12 ก และ 3.12 ข

	
รูปที่ 3.12 ก. แสดงรูปแบบ BLF 578	รูปที่ 3.12 ข. แสดงสัญลักษณ์ของ LDMOS BLF 578

คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์เบอร์ BLF578 นั้นคือ มีความแข็งแรง ทนความร้อนที่สูงและมีประสิทธิภาพสูง เพราะเป็นทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานแบบชนิดพวง-พวง สามารถทำงานที่ย่านความถี่ 10 – 500 MHz ที่แหล่งจ่ายไฟ 50Vdc จากการทดสอบทรานซิสเตอร์ที่ความถี่ 225MHz สามารถให้กำลังงานแกลโวลต์สูงสุด 1200W มีอัตราขยายประมาณ 24dB และมีประสิทธิภาพ 71% และที่ความถี่ 108MHz สามารถให้กำลังงานแกลโวลต์ได้สูงสุด 1000W มีอัตราขยายประมาณ 26 dB และมีประสิทธิภาพ 75% และอุปกรณ์นี้มีความไวต่อไฟฟ้าสถิต อีกทั้งยังสามารถทนความร้อนได้ถึง 150°

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

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของ BLF578 จากแก่นข้อมูล



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงอินพุต / เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ของมอสเฟต

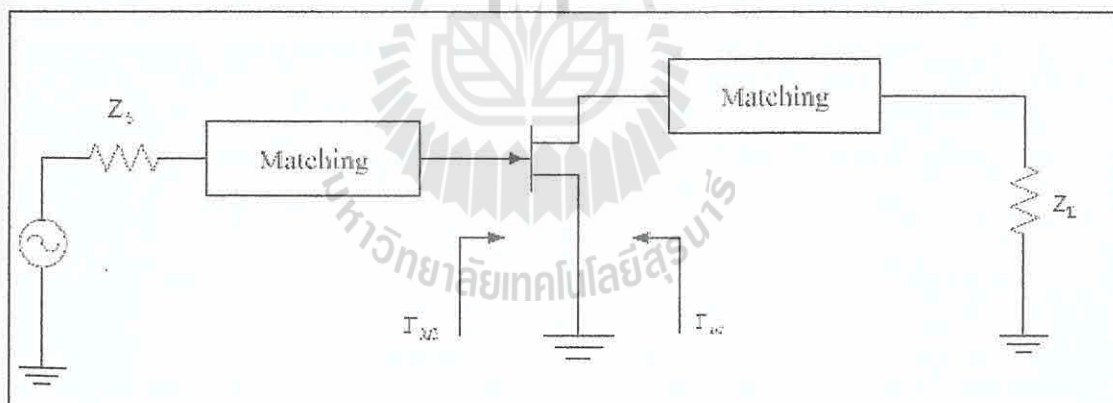
3.4.4 แมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์

การส่งกำลังจากแหล่งจ่ายไปสู่โหลดให้ได้มากที่สุดนั้น จะต้องใช้หลักการแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์ ซึ่งเป็นการทำให้อิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตและอิมพีแดนซ์ด้านเอาท์พุทเท่ากัน โดยที่หากอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตกับเอาท์พุทมีค่าไม่เท่ากัน จะต้องใช้อุปกรณ์หรือวงจรสำหรับแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์เมื่อแหล่งจ่ายเป็นกระแสสลับได้แก่ หม้อแปลง, LC เน็ตเวิร์ค เป็นต้น

3.4.4.1 การแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์ของวงจรขยายสัญญาณ

โดยทั่วไปแล้ววงจรกำเนิดสัญญาณความถี่มักจะอยู่ส่วนหน้าของวงจรขยายสัญญาณของระบบ โดยปกติแล้วจะถูกออกแบบมาสำหรับระบบอิมพีแดนซ์แบบ 50 โอห์ม ซึ่งคุณสมบัติของวงจรกำเนิดความถี่อาจเปลี่ยนแปลงได้ เมื่อค่าอินพุตหรือเอาท์พุทอิมพีแดนซ์มีค่าต่างออกไป ดังนั้นการแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์จึงเป็นสิ่งสำคัญที่วงจรต่างๆ จะต้องมีการเทอร์มินเนตค่าอิมพีแดนซ์ที่เหมาะสมตลอดทุกช่วงความถี่

วงจรขยายสัญญาณจะมีกำลังงาน อัตราขยาย และประสิทธิภาพที่สูงได้ ต้องประกอบไปด้วยปัจจัยหลายอย่างทั้งโครงสร้างของวงจรและการออกแบบวงจรที่มีเสถียรภาพ สิ่งสำคัญของการออกแบบวงจรขยายสัญญาณ คือ การแมตช์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณ ทั้งนี้ก็เพื่อส่งผ่านกำลังงานในวงจรให้ได้มากที่สุดโดยลักษณะรูปแบบของโครงข่ายแมตช์ซึ่งอิมพีแดนซ์แสดงดังรูปที่ 3.14 ประกอบด้วยการแมตช์อิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตซึ่งจะมีคู่อิมพีแดนซ์คือ Z_S และ Γ_S และการแมตช์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตซึ่งมีคู่อิมพีแดนซ์คือ Z_L และ Γ_L โดย Γ_S และ Γ_L จะใช้พารามิเตอร์การกระจาย (S-parameter) ของมอสเฟตในการวิเคราะห์และออกแบบค่าที่จำเป็นต้องใช้สำหรับแมตช์ซึ่งอิมพีแดนซ์ โดยสามารถเรียกค่าเหล่านี้ว่า Γ_{MS} และ Γ_{ML} ซึ่งทำให้ได้ค่าสำหรับแมตช์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของวงจร โดยสามารถใช้สมการในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ดังสมการตั้ง 3.10 และ 3.11 เพื่อทราบค่าพารามิเตอร์ Γ_{MS} และ Γ_{ML} ในการแมตช์ซึ่งอิมพีแดนซ์ของวงจร โดย Γ_{MS} เป็นค่าของสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากแหล่งจ่ายทางด้านอินพุตของมอสเฟตสามารถหาได้จากสมการที่ 3.11 และ Γ_{ML} เป็นค่าของสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากแหล่งจ่ายทางด้านเอาต์พุตของมอสเฟตสามารถหาได้จากสมการที่ 3.12



รูปที่ 3.14 โครงข่ายแมตช์ซึ่งอิมพีแดนซ์

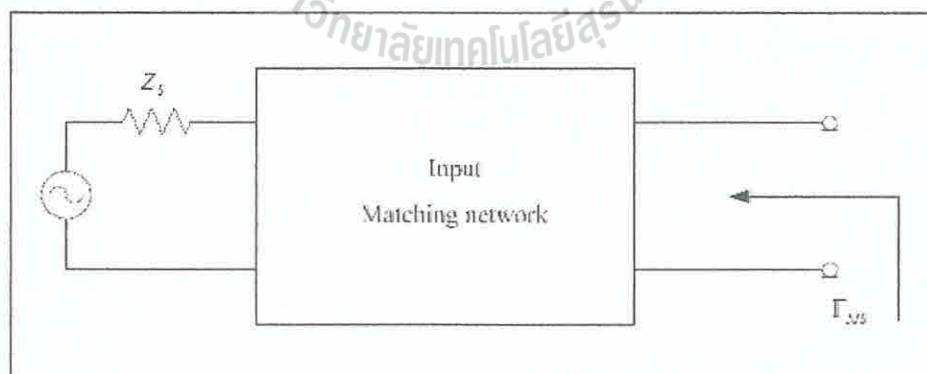
$$\Gamma_{MS} = \frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4|C_1|^2}}{2C_1} \quad (3.11)$$

โดยที่ $B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2$ และ $C_1 = S_{11} - \Delta S_{22}^*$

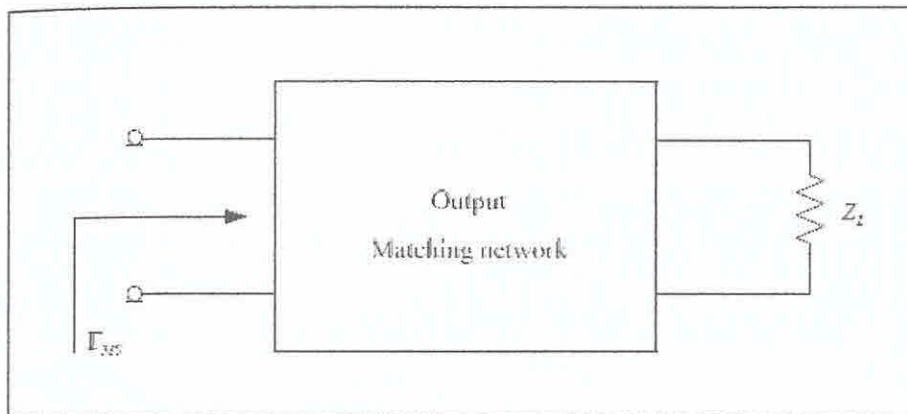
$$\Gamma_{ML} = \frac{B_2 \pm \sqrt{B_2^2 - 4|C_2|^2}}{2C_2} \quad (3.12)$$

โดยที่ $B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2$ และ $C_2 = S_{22} - \Delta S_{11}^*$

การแมตช์ซึ่งอิมพีแดนซ์จะประกอบด้วยอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตซึ่งเป็นคู่การแมตช์ซึ่งกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากแหล่งจ่ายทางด้านอินพุตของมอสเฟตแสดงดังรูปที่ 3.15 และอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตซึ่งเป็นคู่ของการแมตช์ซึ่งกับสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากแหล่งจ่ายทางด้านเอาต์พุตของมอสเฟตแสดงดังรูปที่ 3.16 โดยการออกแบบวงจรแมตช์อิมพีแดนซ์สามารถแมตช์อิมพีแดนซ์ได้จากแผนภูมิสมิท (smith chart) โดยลักษณะรูปแบบของแผนภูมิสมิทได้จากการแปลงค่าโดยแผนภูมิต่า $Z = R + jX$ ลงในระนาบของ $\Gamma \angle \Phi = U + jV$ โดยใช้สมการที่ 3.13 และ 3.14



รูปที่ 3.15 โครงข่ายแมตช์ซึ่งอินพุตอิมพีแดนซ์



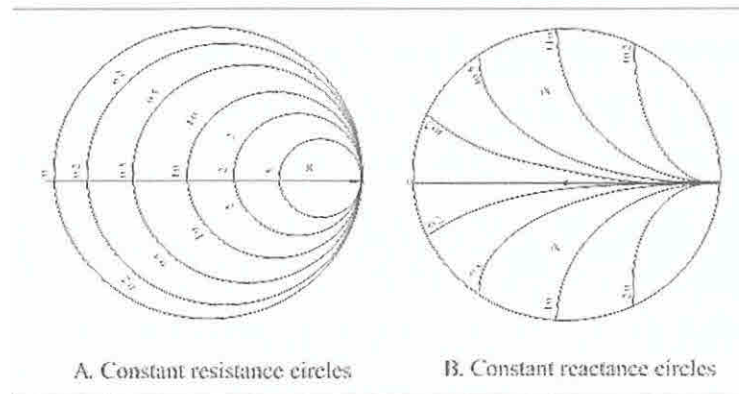
รูปที่ 3.16 โครงข่ายแมตซ์ซิ่งเอาท์พุตอิมพีแดนซ์

$$\Gamma = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (3.13)$$

โดยที่ $z = \frac{Z}{Z_0}$ คือค่า Normalize ของอิมพีแดนซ์

$$\Gamma = \frac{z - 1}{z + 1} \quad (3.14)$$

ซึ่งจะทำให้ได้ชุดวงกลมค่าตัวต้านทานคงที่กับวงกลมค่ารีแอกแตนซ์คงที่บน
ระนาบ U - V และเมื่อนำวงกลมทั้งสองชุดมารวมกันจะเป็นดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 โครงสร้างของแผนภูมิสมิท

เนื่องจากระนาบ U และ V ของ Γ ไม่ค่อยได้ใช้ ดังนั้นรูปแบบภาพจึงมีสเกลเป็นโพลาร์ โดยมุมของ Γ อยู่บนสเกลตามเส้นรอบวงของรูปแบบภาพ ทั้งที่เป็นองศาและเศษส่วนของความยาวคลื่นและขนาดของ Γ หาได้จากสเกลได้รูปแบบภาพ ทำให้แผนภูมิสมิทมีประโยชน์มากในการแก้ปัญหาหาของสายส่งและการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของวงจรต่างๆ ได้เป็นอย่างดี และง่ายต่อการออกแบบและการใช้งาน

3.4.5.2 การหาค่าแมตซ์อิมพีแดนซ์ในแผนภูมิสมิท (Smith Chart)

การหาค่าแมตซ์อิมพีแดนซ์นั้น จะต้องเริ่มจากการกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิท ซึ่งในแต่ละจุดบนแผนภูมิสมิทจะแสดงค่าของอิมพีแดนซ์ ซึ่งมีลักษณะเป็นอนุกรมกันในรูปของ $Z = R + jX$ นั่นคือสามารถกำหนดจุดค่า Z ลงบนจุดที่เป็นจุดตัดระหว่างวงกลม R กับวงกลม X ได้เลยดังสมการกำหนดจุดต่างๆ โดยการแมตซ์อิมพีแดนซ์บนแผนภูมิสมิทเมื่อได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่จะแมตซ์บนแผนภูมิสมิทแล้วสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ โดยการใช้แผนภูมิสมิทดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการแมตซ์ซึ่งได้เป็นอย่างดีเมื่อทราบค่าของโพลอิมพีแดนซ์และอิมพีแดนซ์ที่ต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถแมตซ์อิมพีแดนซ์ของวงจรโดยใช้โครงข่ายแบบ 2 องค์ประกอบบนแผนภูมิสมิท ซึ่งการแมตซ์อิมพีแดนซ์บนแผนภูมิสมิทมีขั้นตอนดังนี้

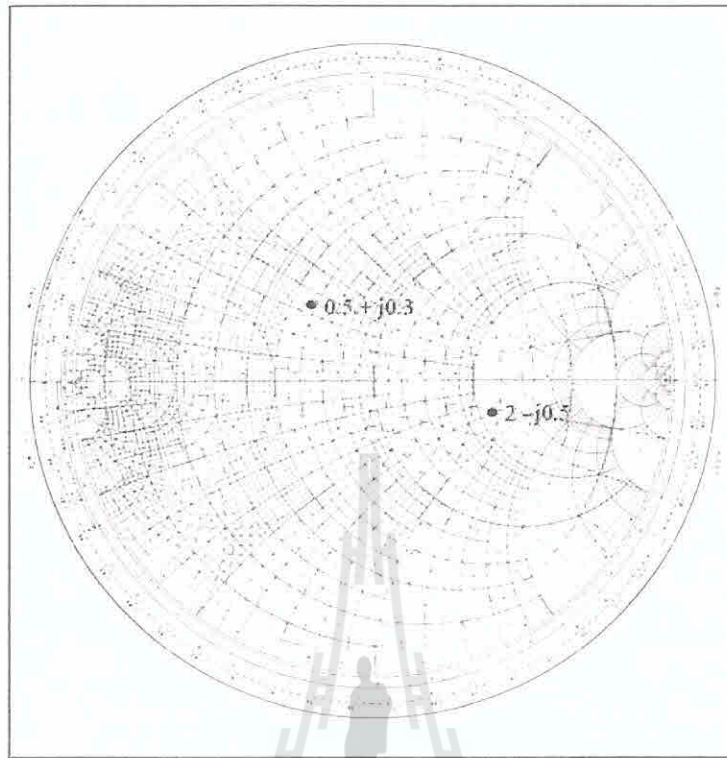
1. สำหรับการแมตซ์อิมพีแดนซ์ที่ได้คู่แมตซ์แล้ว และถ้าค่าที่ได้อยู่ในรูปจำนวนเชิงซ้อน อิมพีแดนซ์ที่ต้องการเมื่อมองจากแหล่งจ่ายนั้นคือ การคอนจูเกตจำนวนเชิงซ้อนของด้านแหล่งจ่ายอย่าง เช่น เมื่ออิมพีแดนซ์ด้านแหล่งจ่ายเท่ากับ $25 - j15$ โอห์ม และอิมพีแดนซ์ฝั่งโหลดเท่ากับ $100 - j25$ โอห์ม เมื่อมองจากแหล่งจ่ายทำให้ได้คู่แมตซ์ซึ่งเป็น $25 + j15$ กับ $100 - j25$

2. ถ้าค่าที่ต้องการแมตซ์ซึ่งมีค่าใหญ่เกินไป จะต้องทำการนอร์มอลไลซ์ด้วยค่าใดค่าหนึ่งเพื่อให้ค่าเล็กลงทำให้ง่ายต่อการแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์และการกำหนดจุดลงบนแผนภูมิสมิท เช่น จากค่าในข้อที่ 1 สามารถนอร์มอลไลซ์ด้วย 50 ทำให้ได้ อิมพีแดนซ์ด้านแหล่งจ่ายเท่ากับ $0.5 + j0.3$ โอห์ม และอิมพีแดนซ์ด้านโหลดเท่ากับ $2 - j0.5$ เป็นคู่การแมตซ์อิมพีแดนซ์

3. หลังจากได้คู่การแมตซ์อิมพีแดนซ์แล้วสามารถกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิท เพื่อทำการแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์แสดงดังรูปที่ 3.18 แสดงการกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิทซึ่งนำค่าจากข้อที่ 2 ในการกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิท

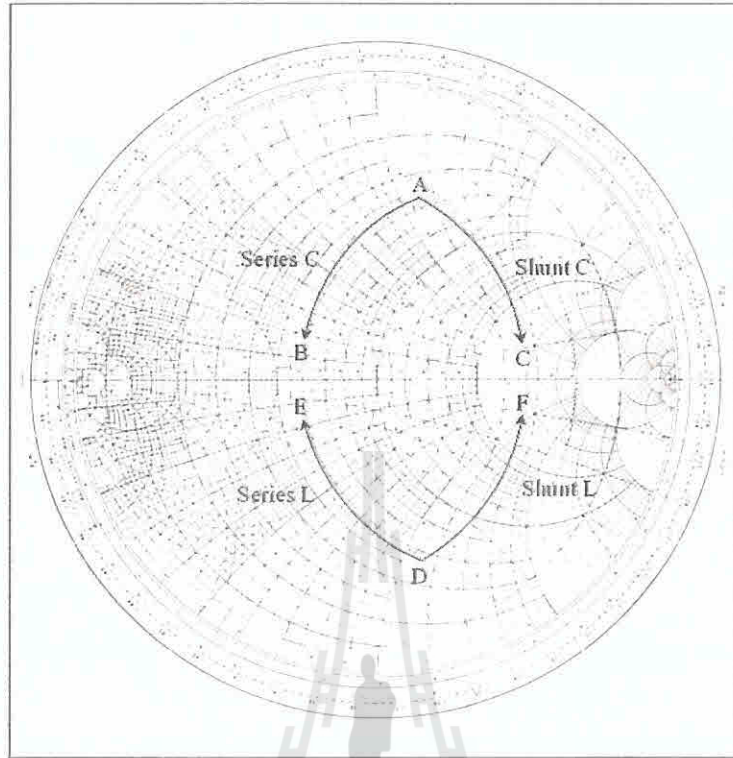
4. หลังจากการกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิทแล้วสามารถวนหาค่าองค์ประกอบต่างๆ จากจุดที่ต้องการแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์เพื่อจำกัดค่าของพารามิเตอร์โดยลักษณะของพารามิเตอร์ที่ได้จากการวนจะแสดงดังรูปที่ 3.19 โดยการวนจากเส้นโค้ง AB เป็นการจำกัดค่า C อนุกรม เส้นโค้ง AC เป็นการจำกัดค่า C ขนาน เส้นโค้ง DE เป็นการจำกัดค่า L อนุกรม และเส้นโค้ง DF เป็นการจำกัดค่า L ขนาน

5. เมื่อวนหาค่าองค์ประกอบที่ได้แล้วสามารถอ่านค่าที่ขององค์ประกอบจากกราฟวนดังแสดงในรูปที่ 3.20 และสามารถนำค่ามาคำนวณดังสมการที่ 3.15 และ 3.16 และแทนค่าที่ได้ลงในสมการที่ 3.17 และ 3.18 เพื่อที่จะทำให้ได้ค่าองค์ประกอบที่ทำการแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ในรูปของค่าตัวเก็บประจุ (C) และตัวเหนี่ยวนำ (L)

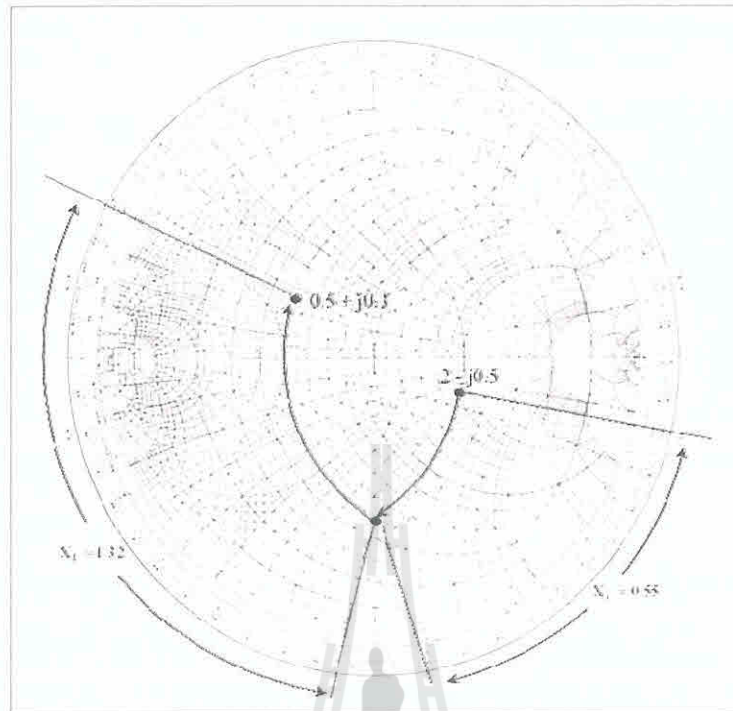


รูปที่ 3.18 การกำหนดจุดบนแผนภูมิสมิท

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.19 ทิศทางการเคลื่อนที่ของการแมตซ์ซึ่งอุปกรณ์บนแผนภูมิสมิท



รูปที่ 3.20 การอ่านค่าความยาวของส่วน โค้งบนแผนภูมิสมิท

$$X_C = \left[\frac{1}{jC} \right] \text{ (Normalize)} \quad (3.15)$$

$$X_L = [jL] \text{ (Normalize)} \quad (3.16)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (3.17)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} \quad (3.18)$$

บทที่ 4

การออกแบบและสร้างวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ ในย่านความถี่เอฟเอ็ม กำลัง 1000 วัตต์

4.1 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณวิทยุที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์

การออกแบบวงจรขยายสัญญาณวิทยุที่ความถี่ FM ใช้มอสเฟตเบอร์ BLF578 ที่ความถี่กลาง 98 เมกะเฮิร์ตซ์ ขนาดกำลังงานที่ต้องการประมาณ 1000 วัตต์ โดยรับสัญญาณอินพุตประมาณ 2.5 วัตต์ จากวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่และกำหนดไบอัสแรงดันที่ขาเดรนเท่ากับ 48 โวลต์ และแรงดันที่ขาเกตเท่ากับ 1.2-1.5 โวลต์ ออกแบบเป็นคลาสเอบีและออกแบบวงจรแมตช์ซึ่งอิมพีแดนซ์เพื่อให้กำลังงานและให้วงจรมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด และกำหนดอิมพีแดนซ์ด้านอินพุตและด้านเอาต์พุตเท่ากับ 50 โอห์ม จะออกแบบโดยการใช้แผ่นวงจร RF35 ที่มีความหนา 0.76 มิลลิเมตร โดยแผ่นทองแดงหนาประมาณ 0.035 มิลลิเมตร ϵ_r เท่ากับ 3.5 โดยจะมีขนาดความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร และความกว้างเท่ากับ 5.5 เซนติเมตร เชื่อมต่อด้วยสายโคแอกเซียลทั้งด้านอินพุตและเอาต์พุตโดยการออกแบบได้จากการคำนวณจากทฤษฎีในบทที่ 3 ดังต่อไปนี้

4.1.1 การคำนวณหาค่าอินพุต/เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของมอสเฟต

อิมพีแดนซ์ของมอสเฟตประกอบด้วยอินพุตอิมพีแดนซ์และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ เมื่ออินพุตอิมพีแดนซ์วัดจากขาเกต 3 เทียบกับขาเกต 4 และเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ วัดจากขาเดรน 1 เทียบกับขาเดรน 2 เนื่องจากเราต้องการออกแบบวงจรขยายที่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ จึงต้องหาอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งในการคำนวณหา เราจำเป็นต้องรู้ค่าอินพุต / เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของมอสเฟตในช่วงค่าที่มากกว่าและน้อยกว่าค่าที่เราต้องการทั้ง 2 ค่าก่อน ซึ่งสามารถหาได้จากรูปที่ 3.13 ในบทที่ 3 มาคำนวณหาอินพุต / เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ได้ดังสมการ 4.1

$$\frac{f_{\max} - f_{\min}}{[\text{Re}], [\text{Im}]_{\max} - [\text{Re}], [\text{Im}]_{\min}} = \frac{f_{\max} - f_x}{[\text{Re}], [\text{Im}]_{\max} - x} \quad (4.1)$$

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

4.1.1.1 การคำนวณหาอินพุตอิมพีแดนซ์ของมอเตอร์ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ (Z_i)

จากรูปตารางที่ 3.13 ในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่า

ที่ความถี่ 75 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้ค่า $Z_i = 1.176 - j4.395$

และที่ความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้ค่า $Z_i = 1.176 - j3.280$

จาก Z_i ที่ความถี่ทั้งสองข้างต้น สามารถนำมาหาค่าจำนวนจินตภาพของอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ได้ดังนี้

$$\frac{100 - 75}{-j3.28 - (-j4.395)} = \frac{100 - 98}{-j3.28 - x}$$

$$\frac{25}{j1.115} = \frac{2}{-j3.28 - x}$$

$$(25)(-j3.28 - x) = (2)(j1.115)$$

$$-x = \frac{j2.23}{25} + j3.28$$

$$-x = j0.089 + j3.28$$

$$x = -j3.369$$

จากการคำนวณจะได้ค่าจำนวนจินตภาพของอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ค่าความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ เท่ากับ $-j3.369$

และจากรูปที่ 3.13 ในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าจำนวนจริงของอินพุตอิมพีแดนซ์ ตั้งแต่ช่วงความถี่ 25 ถึง 150 เมกะเฮิร์ตซ์ มีค่าคงที่ ที่ 1.176 ตลอดทั้งช่วงความถี่ จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าจำนวนจริงของอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ค่าความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ มีค่าเท่ากับ 1.176 ด้วยเช่นกัน

เพราะฉะนั้นจะได้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ คือ

$$Z_i = 1.176 - j3.369$$

4.1.1.2 การคำนวณหาเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของมอสเฟตที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ (Z_o)

จากรูปตารางที่ 3.15 ในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่า

ที่ความถี่ 75 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้ค่า $Z_o = 1.674 - j0.178$

และที่ความถี่ 100 เมกะเฮิร์ตซ์ จะได้ค่า $Z_o = 1.654 - j0.234$

จาก Z_o ที่ความถี่ทั้งสองข้างต้น สามารถนำมาหาค่าจำนวนจริงของเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ ได้ดังนี้

$$\frac{100 - 75}{1.654 - 1.674} = \frac{100 - 98}{1.654 - x}$$

$$\frac{25}{-0.02} = \frac{2}{1.654 - x}$$

$$(25)(1.654 - x) = (2)(-0.02)$$

$$-x = \frac{-0.04}{25} - 1.654$$

$$-x = -0.0016 - 1.654$$

$$x = 1.6556 \cong 1.656$$

จากการคำนวณจะได้ค่าจำนวนจริงของเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ค่าความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ เท่ากับ 1.656

และจาก Z_o ที่ความถี่ทั้งสองข้างต้น สามารถนำมาหาค่าจำนวนจินตภาพของเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{100 - 75}{-j0.234 - (-j0.178)} &= \frac{100 - 98}{-j0.234 - x} \\ \frac{25}{-j0.056} &= \frac{2}{-j0.234 - x} \\ (25)(-j0.234 - x) &= (2)(-j0.056) \\ -x &= \frac{-j0.112}{25} + j0.234 \\ -x &= -j0.0045 + j0.234 \\ x &= -j0.2295 \cong -j0.23 \end{aligned}$$

จากการคำนวณจะได้ ค่าจำนวนจินตภาพของเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ค่าความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ เท่ากับ $-j0.23$

จากการคำนวณทั้งสองข้างต้นจะได้ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ คือ

$$Z_o = 1.656 - j0.23$$

จากการคำนวณหาค่าอินพุต / เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ จะได้ค่าตามที่คำนวณดังนี้


อินพุตอิมพีแดนซ์ (โอห์ม) :	เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (โอห์ม) :
1.176 - j3.369	1.656 - j0.23

4.1.2 การออกแบบบาลัน

การออกแบบบาลันนั้น จะต้องเลือกใช้สาย Coaxial ที่เหมาะสมตามความสามารถของสาย เช่น ถ้าออกแบบบาลันทางด้านเอาต์พุตซึ่งเป็นด้านที่รับกำลังของสัญญาณสูงก็ควรที่จะเลือกใช้สาย Coaxial ที่สามารถรับกำลังของสัญญาณที่สูงได้ตามไปด้วย เป็นต้น บาลันมีหน้าที่แยกสัญญาณอินพุตออกเป็นสองสัญญาณ โดยที่ตำแหน่งของวงจรบาลันนั้นจะมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์มและอิมพีแดนซ์เอาต์พุตของวงจรอินพุตบาลันคือ 25 โอห์ม ซึ่งในที่นี้จะเลือกใช้สาย Semi Rigid Coaxial Cable RG405 ในการออกแบบบาลันทางด้านอินพุต และเลือกใช้สาย Coaxial Cable RG402 ในการออกแบบบาลันทางด้านเอาต์พุต และสามารถคำนวณค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าของสายส่งสัญญาณได้จากสมการที่ 3.8 และ 3.9 ตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

4.1.2.1 การออกแบบบาลันทางด้านอินพุต

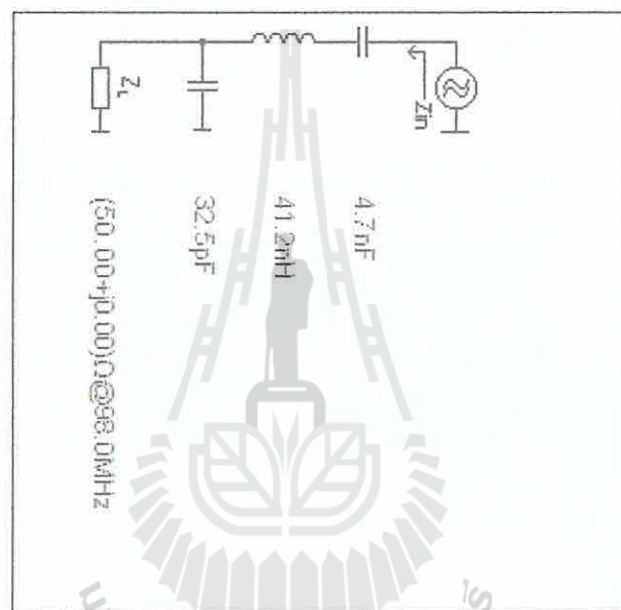
การออกแบบบาลันทางด้านอินพุตในวงจรขยายสัญญาณวิทยุที่ช่วงความถี่ FM Band จะเลือกใช้สาย Semi Rigid Coaxial Cable RG405 ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ที่ 50 โอห์ม และมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

	<p>Semi Rigid 0.086 cable RG405 086-50(Approxr-equal to M17/133-RG405 coaxial cable,RF Model Number: SFT086-50 Semi-rigid</p> <p>Key Specifications/Special Features:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ KTG 086-50 ▪ Description: (086-50)Semi-rigid coaxial cable ▪ Structure parameter ▪ Inner Conductor Silver plated Copper, Silver plated Copper Clad Steel 0.56mm ▪ Dielectric Core Polytetrafluoroethylene(PTFE) 1.63mm ▪ Outer Conductor Copper Tube ▪ Copper Tin&Zinc-plated Copper Tube 2.19mm ▪ Electrical Data Impedance nominal 50ohms ▪ Capacitance nominal 98 pF/m ▪ Corona Extinction Voltage 1200VRMS@ 50HZ ▪ Voltage Withstanding 2500VRMS@ 50HZ ▪ Cut-Off Frequency 61GHZ ▪ Velocity of Propagation nominal 70% ▪ Mechanical Data Operating Temperature -55~ 125 (°C) ▪ Minimum Bending Radius (for bending once) 10mm ▪ Outer Conductor Temperature Rating 175 (°C) ▪ Attenuation and Power ▪ (Frequency) (GHZ) (Attenuation) (dB/m) Power(Watts CW) ▪ 0.5 0.45 190.3 ▪ 1.0 0.64 133.2 ▪ 5.0 1.51 57.2 ▪ 10 2.22 39.3 ▪ 20 3.29 26.7
---	---

รูปที่ 4.1 คุณสมบัติของสาย Semi Rigid Coaxial Cable RG405

Point	Z (Ω)	Q	Frequency (MHz)
DP 1	(25.000 + j0.000)	0.000	98
DP 2	(50.000 + j0.000)	0.000	98
TP 3	(24.985 - j25.000)	1.001	98
TP 4	(24.985 - j0.370)	0.015	98
TP 5	(24.985 + j0.023)	0.001	98

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าต่างๆ ใน Smith Chart ของวงจรบาลันทางดัดอินพุต



รูปที่ 4.3 วงจรแสดงอุปกรณ์ของวงจรบาลันทางดัดอินพุต

จากรูปที่ 4.1 จะทราบค่า $b = 2.19$ mm, $a = 0.56$ mm และ Dielectric เป็น PTFE ซึ่งจะมีค่า $\epsilon_r = 2.1$ สามารถนำมาคำนวณค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าได้ดังนี้

ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า :

$$L = 460.517 \times \log\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$L = 460.517 \times \log\left(\frac{2.19}{0.56}\right)$$

$$L = 460.517 \times \log(3.911)$$

$$L = 460.517 \times 0.592$$

$$L = 272.626 \quad \text{nH/m}$$

ค่าความจุไฟฟ้า :

$$C = \frac{24.16 \times \epsilon_r}{\log\left(\frac{b}{a}\right)}$$

$$C = \frac{24.16 \times 2.1}{\log\left(\frac{2.19}{0.56}\right)}$$

$$C = \frac{24.16 \times 2.1}{\log(3.911)}$$

$$C = \frac{50.736}{0.592}$$

$$C = 85.702 \quad \text{pF/m}$$


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

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าต้องการสายที่มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า 41.2 nH เพราะฉะนั้นเราจะต้องตัดสายให้ได้ความยาว $x = \frac{1 \times 41.2}{272.626} = 0.151m$ หรือประมาณ 5.95 นิ้ว และสามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของสายได้จาก $C = 85.702 \times 0.151 = 12.941$ pF และจากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ก็ว่าต้องใช้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 32.5 pF เพราะฉะนั้นต้องเพิ่มค่าความจุไฟฟ้าเข้าไปในวงจรอีก 19.55 pF หรือประมาณ 20 pF และค่าความจุ 4.7 nF อีกตัวนั้นใช้สำหรับป้องกันไฟฟ้ากระแสดรง



4.1.2.2 การออกแบบบาดันทางด้านเอาท์พุท

การออกแบบบาดันทางด้านเอาท์พุทในวงจรถยายสัญญาณวิทยุที่ช่วงความถี่ FM Band จะเลือกใช้สาย *Coaxial Cable RG402* ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ที่ 50 โอห์ม และมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้


KTR 141-50

Product Description

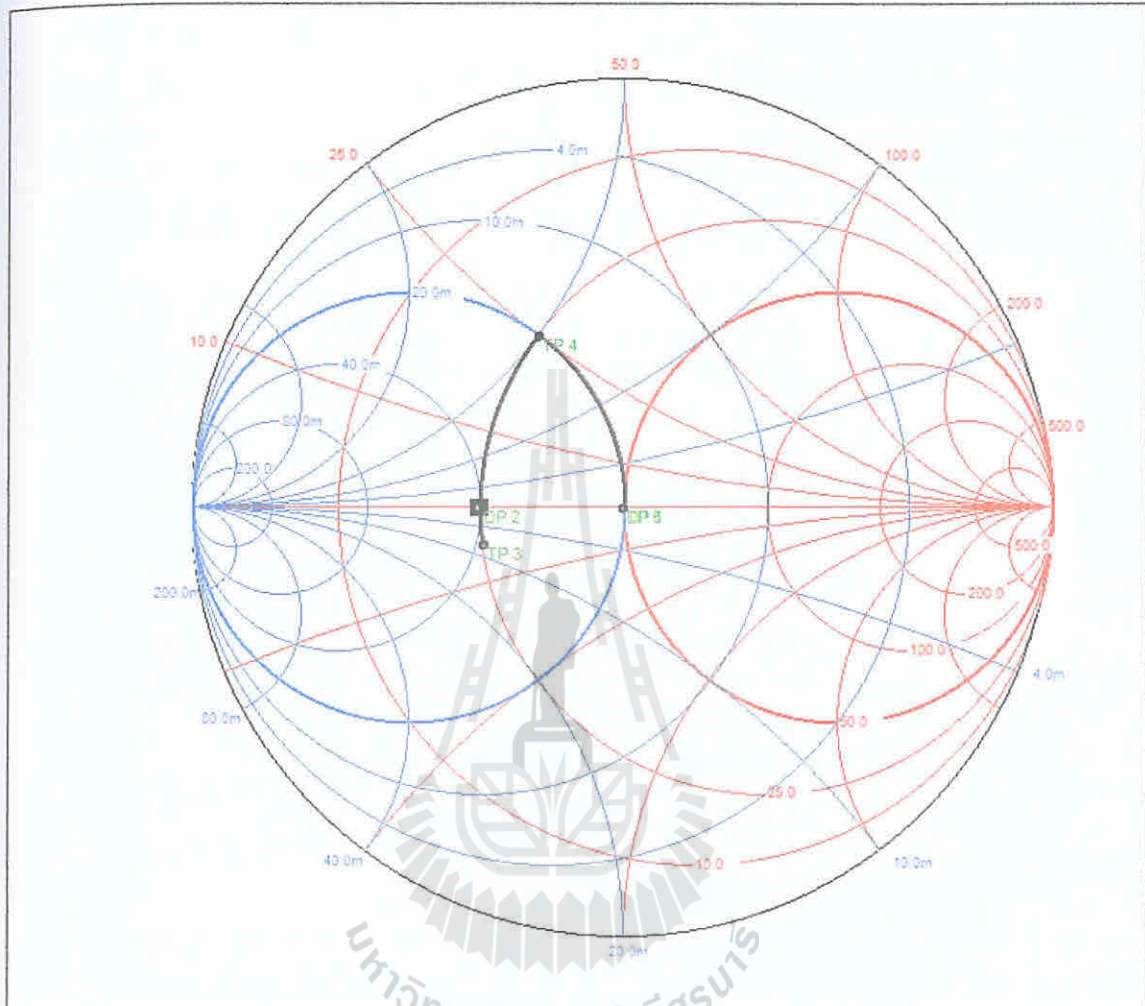
KTR 141-50
 Description (141-50)Semi-Flexible coaxial cable with FEP/PE(Blue/Red/Gray/Black) jacket
 FEP KTRBU-141-50 FEP KTRR-141-50 FEP KTRG-141-50 FEP KTRB-141-50
 Model FEP KTRBU-141-50 FEP KTRR-141-50 FEP KTRG-141-50 FEP KTRB-141-50
 Structure parameter Inner Conductor Silver-plated Copper; Silver plated Copper Clad Steel
 0.91mm
 Dielectric Poly(tetrafluoroethylene)(PTFE) 3.00mm
 Outer Conductor Tin Overcoated-Tin Annealed Copper Wire Braiding 3.55mm
 Jacket Fluorinated ethylene propylene(FEP) 4.10mm
 Polyethylene(PE) 4.55mm
 Electrical Data Impedance, nominal 50ohms
 Velocity of Propagation, nominal 70%
 Signal delay, nominal 4.7ns/m
 Capacitance, nominal 98pF/m
 Insulation resistance, nominal 1500
 Voltage withstand(AC) 3000V RMS/min
 Mechanical Data Temperature rating) -55~165
 Constant Voltage 150 V
 Min. Bending radius (for bending once) 8mm
 Maximum tensile strength 12kg
 Weight of cable 43.5g per m
 Attenuation And Power

RG402 with jacket or without jacket, the performance is the same. There is still with different impedance likes 25, 35, 50, 75, 100

Ferquency(MHZ)	Attenuation	Power(Watts CW)
500	0.25	790
1000	0.39	526
2000	0.54	351
3000	0.62	277
5000	0.92	205
8000	1.15	156
10000	1.37	137
15000	1.79	108
20000	2.1	86

รูปที่ 4.4 คุณสมบัติของสาย *Coaxial Cable RG402*

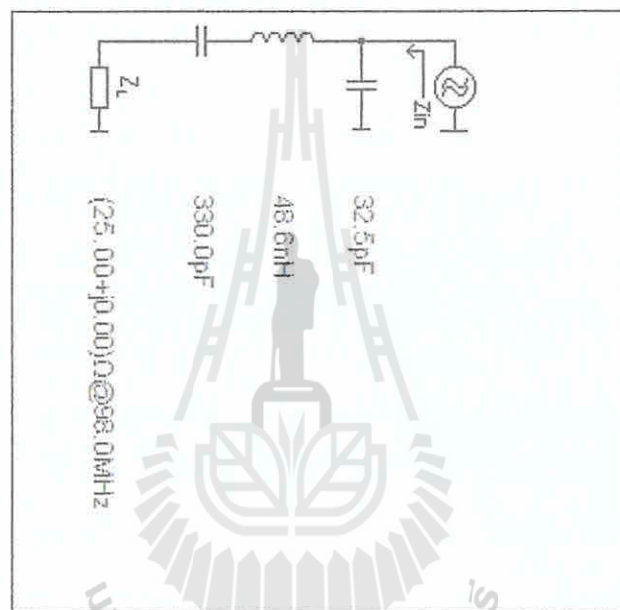
และจะใช้โปรแกรม Smith V3.10 เพื่อคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าในวงจรบาลัน โดยจะได้ค่าดังนี้



รูปที่ 4.5 Smith Chart แสดงการรณหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าของวงจรบาลันทางด้านเอ๊าท์พุท

Point	Z (Ω)	Q	Frequency (MHz)
DP 1	(25.000 + j0.000)	0.000	98
DP 2	(50.000 + j0.000)	0.000	98
TP 3	(25.000 - j4.921)	0.197	98
TP 4	(25.000 + j25.004)	1.000	98
TP 5	(50.008 - j0.030)	0.001	98

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่าต่างๆ ใน Smith Chart ของวงจรบาลันทางด้านเอาต์พุต



รูปที่ 4.6 วงจรแสดงอุปกรณ์ของวงจรบาลันทางด้านเอาต์พุต

จากรูปที่ 4.4 จะทราบค่า $b = 4.55$ mm, $a = 0.91$ mm และ Dielectric เป็น PTFE ซึ่งจะมีค่า $\epsilon_r = 2.1$ สามารถนำมาคำนวณค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าได้ดังนี้

ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า : $L = 460.517 \times \log\left(\frac{b}{a}\right)$

$$L = 460.517 \times \log\left(\frac{4.55}{0.91}\right)$$

$$L = 460.517 \times \log(5)$$

$$L = 460.517 \times 0.699$$

$$L = 321.9 \quad \text{nH/m}$$

ค่าความจุไฟฟ้า :

$$C = \frac{24.16 \times \epsilon_r}{\log\left(\frac{b}{a}\right)}$$

$$C = \frac{24.16 \times 2.1}{\log\left(\frac{4.55}{0.91}\right)}$$

$$C = \frac{24.16 \times 2.1}{\log(5)}$$

$$C = \frac{50.736}{0.699}$$

$$C = 72.584 \quad \text{pF/m}$$

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

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าต้องการสายที่มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า 48.6 nH เพราะฉะนั้นเราจะต้องตัดสายให้ได้ความยาว $x = \frac{1 \times 48.6}{321.9} = 0.151m$ หรือประมาณ 5.94 นิ้ว และสามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของสายได้จาก $C = 72.584 \times 0.151 = 10.96$ pF และจากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้อีกว่าต้องใช้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 32.5 pF เพราะฉะนั้นต้องเพิ่มค่าความจุไฟฟ้าเข้าไปในวงจรอีก 21.54 pF หรือประมาณ 22 pF และค่าความจุ 330 pF อีกตัวนั้นใช้สำหรับป้องกันไฟฟ้ากระแสดตรง

และเมื่อมีการใช้คาปาซิเตอร์เป็นส่วนหนึ่งของบาลัน จะทำให้เกิดค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับเกิดขึ้น จึงต้องมีการแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ ซึ่งอินพุตอิมพีแดนซ์ของการแมตซ์ซึ่งนั้น มีค่าเป็น 50 โอห์ม หรือ ข้างละ 25 โอห์ม ส่วนเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของแมตซ์ซึ่ง มีค่าเป็น 50 โอห์ม หรือ ข้างละ 25 โอห์ม ค่าอิมพีแดนซ์ 25 โอห์ม กำหนดให้มีค่าใกล้เคียงกับอินพุตอิมพีแดนซ์ของมอสเฟต บาลันที่ออกแบบสามารถแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิรตซ์ ได้ดีโดยพิจารณาอัตราส่วนคลื่นนิ่ง (*SWR* : Standing Wave Ratio)

$$SWR = \frac{1 + |\Gamma_0|}{1 - |\Gamma_0|} \quad \text{เมื่อ } \Gamma_0 \text{ คือสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ} \quad (4.2)$$

เมื่อ *SWR* (นิยมใช้ *VSWR*) เท่ากับ 1 แสดงว่าไม่มีการสะท้อนกลับของคลื่น หรือกล่าวได้ว่าการส่งกำลังมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อ *SWR* เท่ากับ 1 นั้นเอง

4.1.3 การออกแบบวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์

การออกแบบวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์จะทำหน้าที่แมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างวงจรบาลันกับทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะต้องการค่า S-parameter หรือไม่กี่ค่า Z_i และ Z_o ของทรานซิสเตอร์เสียก่อน ซึ่งในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณวิทยุที่ความถี่ในย่าน FM Band ครั้งนี้ ได้ทราบค่า Z_i และ Z_o ของทรานซิสเตอร์ที่ความถี่ 75 ถึง 100 เมกะเฮิรตซ์ จาก Data Sheet แล้ว และได้ทำการคำนวณหาค่าความถี่กลางของ FM Band ที่ 98 เมกะเฮิรตซ์ตามหัวข้อที่ 4.1.1 ซึ่งจะได้ใช้ในการรวมในแผนภูมิสมิท เพื่อใช้หาวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ต่อไป

4.1.3.1 การออกแบบวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต

การออกแบบวงจรแมตซ์ซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตนี้ จะเลือกใช้สาย

Semi Rigid Coaxial Cable M17/152 ในการออกแบบ ซึ่งจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

Coaxial Cable

Rev | Change | By | Date

SWR Plot: SWR vs Frequency (MHz)

Frequency (MHz)	SWR
0.5	1.5
1.0	2.0
2.0	3.0
5.0	5.0
10.0	10.0
20.0	20.0

Construction

- A) Center Conductor: 26 71 0007 SPEC, OD: 021" ± .001
- B) Dielectric: Extruded PTFE, OD: 030" ± .003
- C) Braid #1: 36 avg. ecc. 95% coverage, OD: 039" max
- D) Braid #2: 30 avg. ecc. 95% coverage, OD: 049" max
- E) Teflon Jacket: Extruded Brown Teflon, OD: 057" ± .004, Surface Printed: "M17/152-00001 MIL-C-17 27479 HARBOUR INDUSTRIES"

Electricals

- Impedance: 50 ohm ± 2 ohms
- Capacitance: 22.0 pF/ft max
- Velocity of Prop: 69.5% nom
- Time Delay: 1.50 ns/Max
- Cut off Frequency: 55 GHz

Physical Properties

- Weight per 1000 ft: 18.5 lbs
- Minimum Bend Radius: 57"
- Operating Temperature Range: -55.0 to 200C

SWR Data Table:

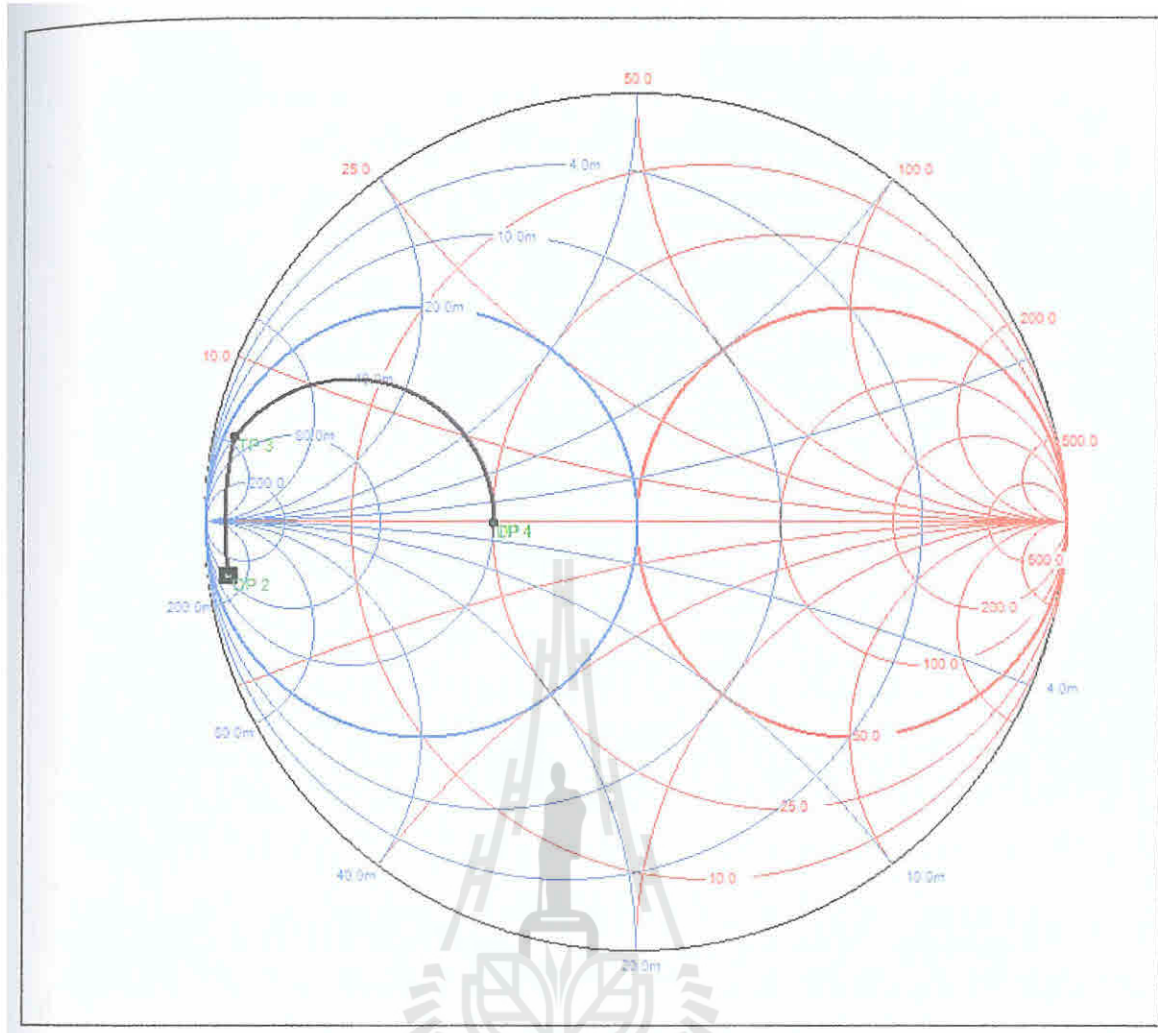
SWR	dB
1.5	1.4
2.0	2.0
3.0	3.0
5.0	5.0
10.0	10.0
20.0	20.0

Harbour Industries
 4764 Shelburne Rd., Shelburne, VT 05487
 Tel: 802-885-1111 Fax: 802-885-0276
 www.harbourind.com

Drawn By: J. Dike
 Approved By: J. Dike
 Date: 03/18/06 Scale: None
 Part Number: U2805 Rev: Sheet 1 of 1
 Drawing Name: M17/152-00001 Drawing Number: 031806_3

รูปที่ 4.7 คุณสมบัติของสาย Semi Rigid Coaxial Cable M17/152

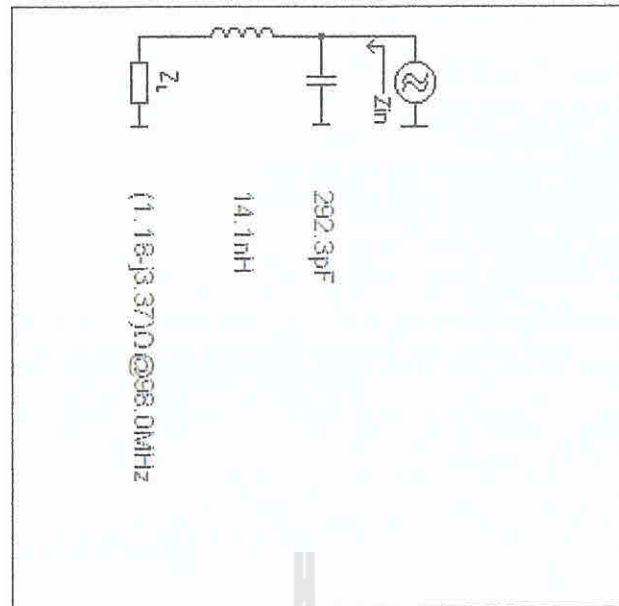
และจากหัวข้อที่ 4.1.1.1 จะได้ว่า $Z_i = 1.176 - j3.369$ นำไปหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ ในโปรแกรม Smith V3.10 จะได้ดังนี้



รูปที่ 4.8 Smith Chart แสดงการวนหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า
ของวงจรแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต

Point	Z (Ω)	Q	Frequency (MHz)
DP 1	(25.000 + j0.000)	0.000	98
DP 2	(1.176 - j3.369)	2.865	98
TP 3	(1.176 + j5.295)	4.502	98
TP 4	(25.014 - j0.004)	0.000	98

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่าต่างๆ ใน Smith Chart ของวงจรแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์ด้านอินพุต



รูปที่ 4.9 วงจรแสดงอุปกรณ์ของแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุต

จากรูปที่ 4.7 จะทราบค่า $b = 1.45$ mm, $a = 0.53$ mm และ Dielectric เป็น PTFE ซึ่งจะมีค่า $\epsilon_r = 2.1$ สามารถนำมาคำนวณค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าได้ดังนี้

ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า :

$$L = 460.517 \times \log\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$L = 460.517 \times \log\left(\frac{1.45}{0.53}\right)$$

$$L = 460.517 \times \log(2.736)$$

$$L = 460.517 \times 0.437$$

$$L = 201.245 \quad \text{nH/m}$$

ค่าความจุไฟฟ้า :

$$C = \frac{24.16 \times \epsilon_r}{\log\left(\frac{b}{a}\right)}$$

$$C = \frac{24.16 \times 2.1}{\log\left(\frac{1.45}{0.53}\right)}$$

$$C = \frac{24.16 \times 2.1}{\log(2.736)}$$

$$C = \frac{50.736}{0.437}$$

$$C = 116.1 \quad \text{pF/m}$$

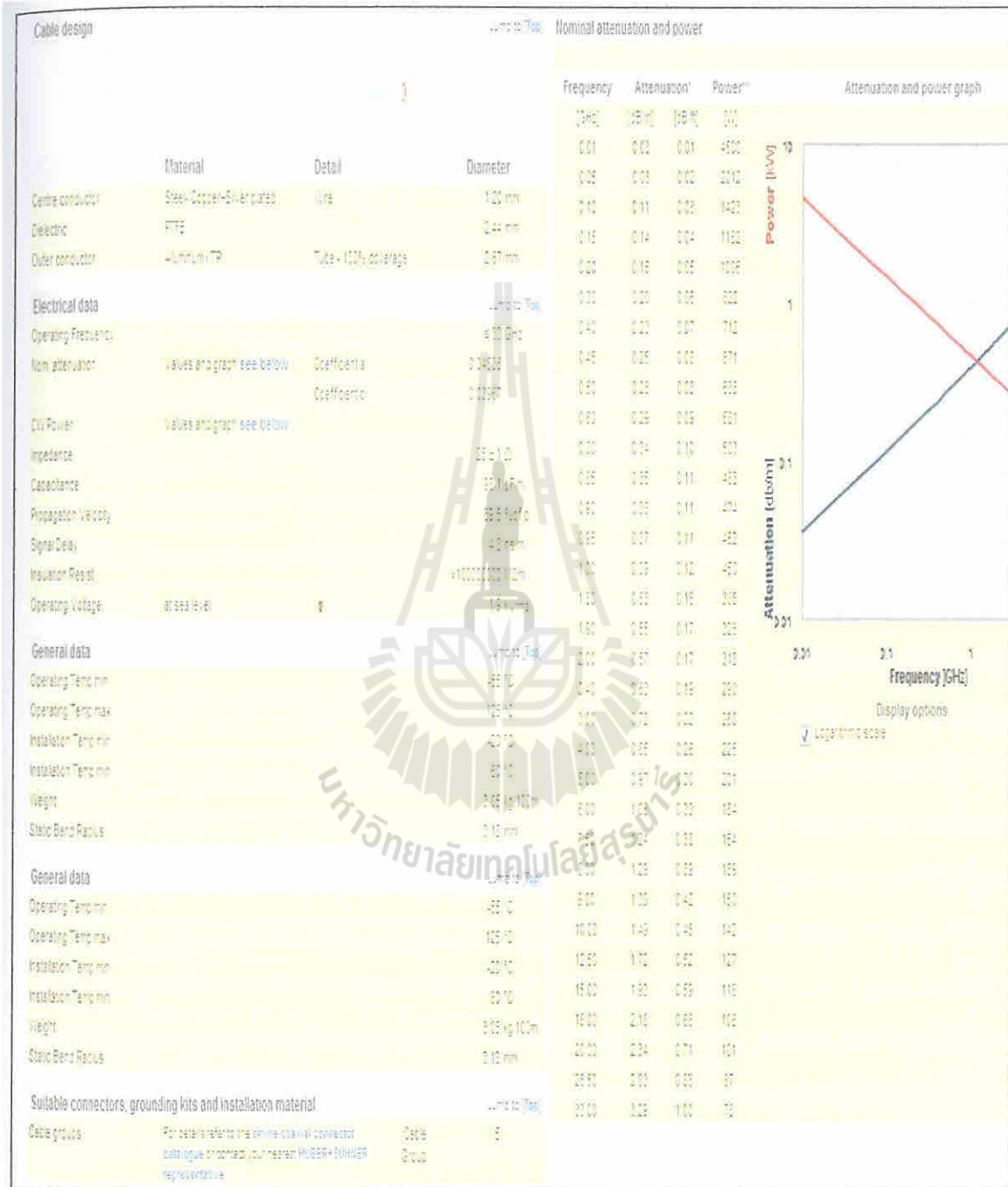
เพราะฉะนั้นที่ความยาวสาย 1 เมตร มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเท่ากับ 201.245 nH/m และมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 116.1 pF/m

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าต้องการสายที่มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า 14.1 nH เพราะฉะนั้นเราจะต้องตัดสายให้ได้ความยาว $x = \frac{1 \times 14.1}{201.245} = 0.07m$ หรือประมาณ 2.76 นิ้ว และสามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของสายได้จาก $C = 116.1 \times 0.07 = 8.127 \text{ pF}$ และจากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้อีกว่าต้องใช้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 292.3 pF เพราะฉะนั้นต้องเพิ่มค่าความจุไฟฟ้าเข้าไปในวงจรอีก 284.173 pF หรือประมาณ 284 pF

4.1.3.2 การออกแบบวงจรแม่เหล็กซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต

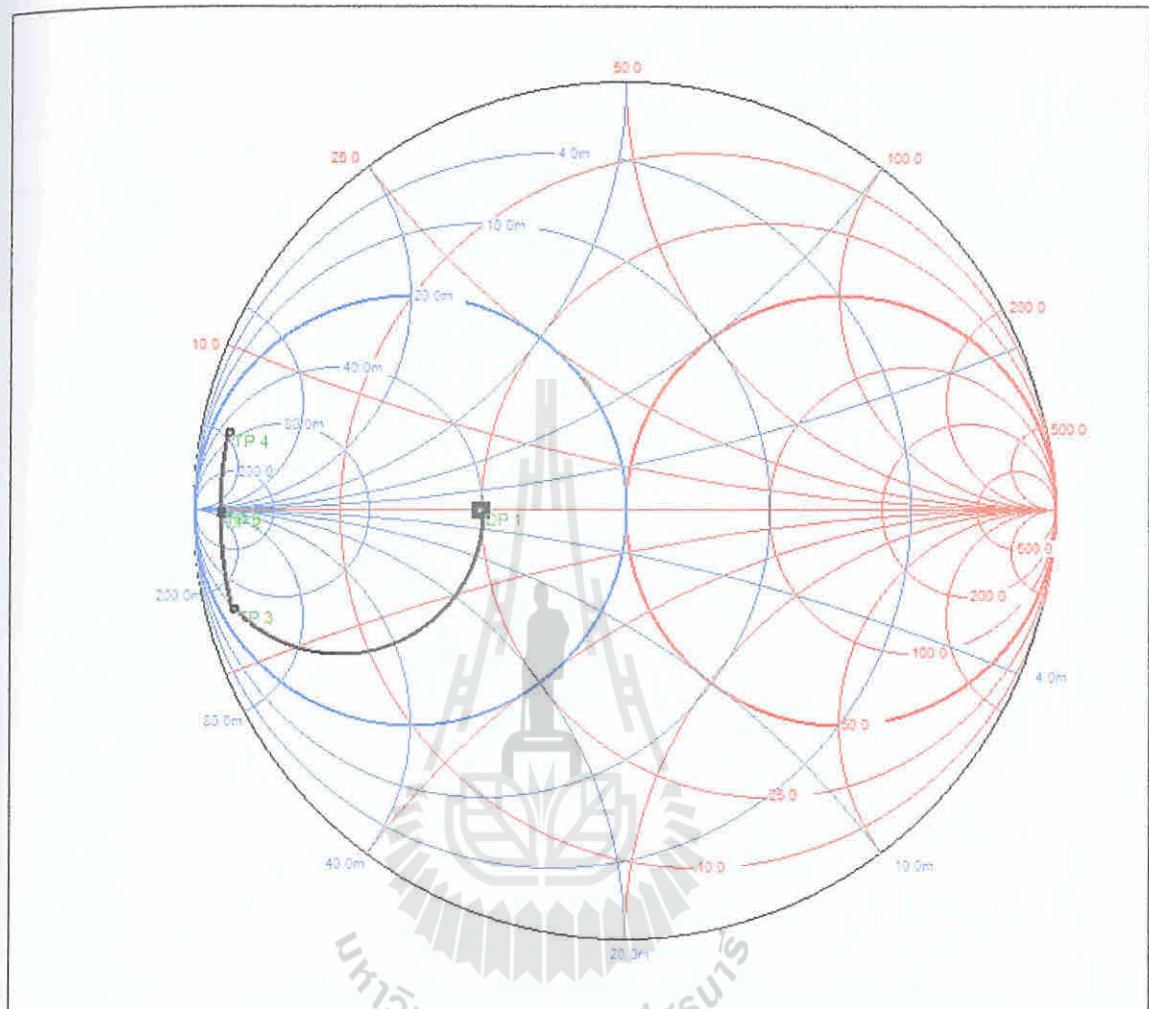
การออกแบบวงจรแม่เหล็กซึ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตนี้จะเลือกใช้สาย

Coaxial Cable EZ-141-25 ในการออกแบบ ซึ่งจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.10 คุณสมบัติของสาย Coaxial Cable EZ-141-25

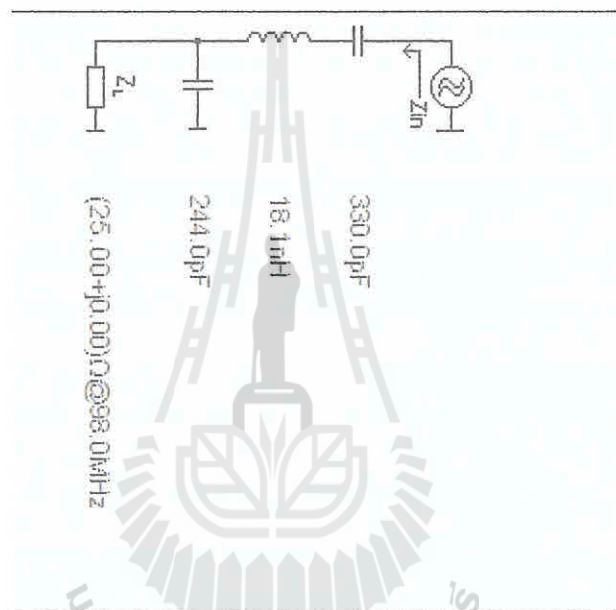
และจากหัวข้อที่ 4.1.1.2 จะได้ค่า $Z_i = 1.656 - j0.23$ นำไปหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ ในโปรแกรม Smith V3.10 จะได้อดังนี้



รูปที่ 4.11 Smith Chart แสดงการหาค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าของวงจรแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต

Point	Z (Ω)	Q	Frequency (MHz)
DP 1	(25.000 + j0.000)	0.000	98
DP 2	(1.656 - j0.230)	0.139	98
TP 3	(1.655 + j6.215)	3.756	98
TP 4	(1.655 + j4.930)	2.979	98
TP 5	(1.655 + j0.008)	0.005	98

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่าต่างๆ ใน Smith Chart ของวงจรแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์ด้านเอาต์พุต



รูปที่ 4.12 วงจรแสดงอุปกรณ์ของแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุต

จากรูปที่ 4.10 จะทราบค่า $b = 2.87 \text{ mm}$, $a = 1.2 \text{ mm}$ และ Dielectric เป็น PTFE ซึ่งจะมีค่า $\epsilon_r = 2.1$ สามารถนำมาคำนวณค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและค่าความจุไฟฟ้าได้ดังนี้

ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า : $L = 460.517 \times \log\left(\frac{b}{a}\right)$

$$L = 460.517 \times \log\left(\frac{2.87}{1.2}\right)$$

$$L = 460.517 \times \log(2.392)$$

$$L = 460.517 \times 0.379$$

$$L = 174.54 \quad \text{nH/m}$$

ค่าความจุไฟฟ้า :

$$C = \frac{24.16 \times \epsilon_r}{\log\left(\frac{b}{a}\right)}$$

$$C = \frac{24.16 \times 2.1}{\log\left(\frac{2.87}{1.2}\right)}$$

$$C = \frac{24.16 \times 2.1}{\log(2.392)}$$

$$C = \frac{50.736}{0.379}$$

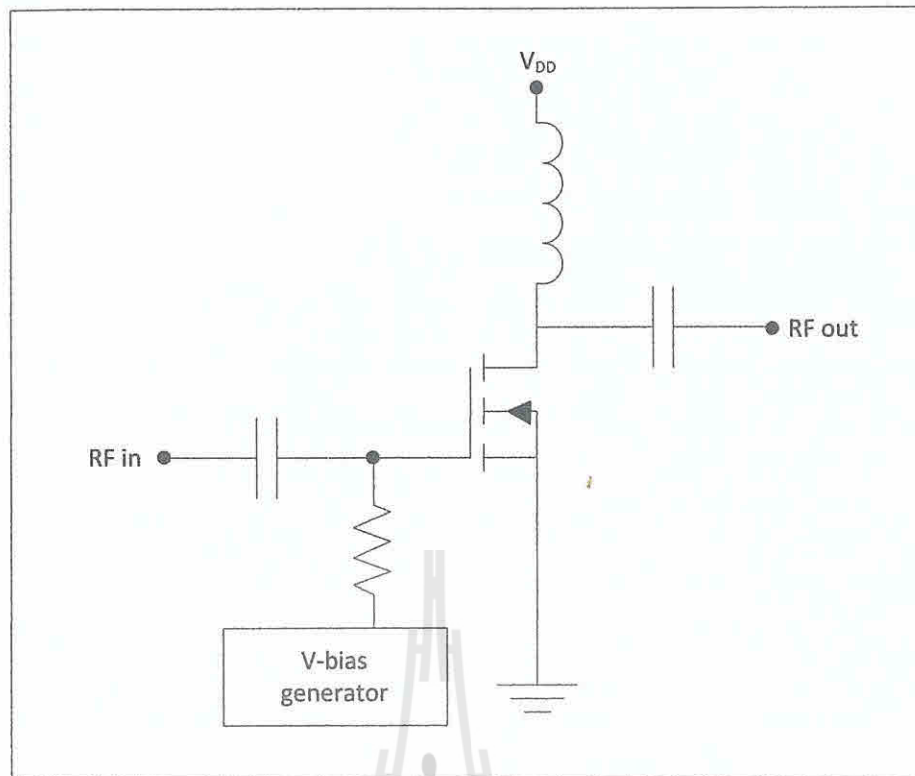
$$C = 133.87 \quad \text{pF/m}$$

เพราะฉะนั้นที่ความยาวสาย 1 เมตร มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าเท่ากับ 174.54 nH/m และมีค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 133.87 pF/m

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าต้องการสายที่มีค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า 18.1 nH เพราะฉะนั้นเราจะต้องตัดสายให้ได้ความยาว $x = \frac{1 \times 18.1}{174.54} = 0.104m$ หรือประมาณ 4.1 นิ้ว และสามารถคำนวณค่าความจุไฟฟ้าของสายได้จาก $C = 133.87 \times 0.104 = 13.923$ pF และจากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้อีกว่าต้องใช้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับ 244 pF เพราะฉะนั้นต้องเพิ่มค่าความจุไฟฟ้าเข้าไปในวงจรอีก 230.077 pF หรือประมาณ 230 pF

4.1.4 วงจรไบอัส

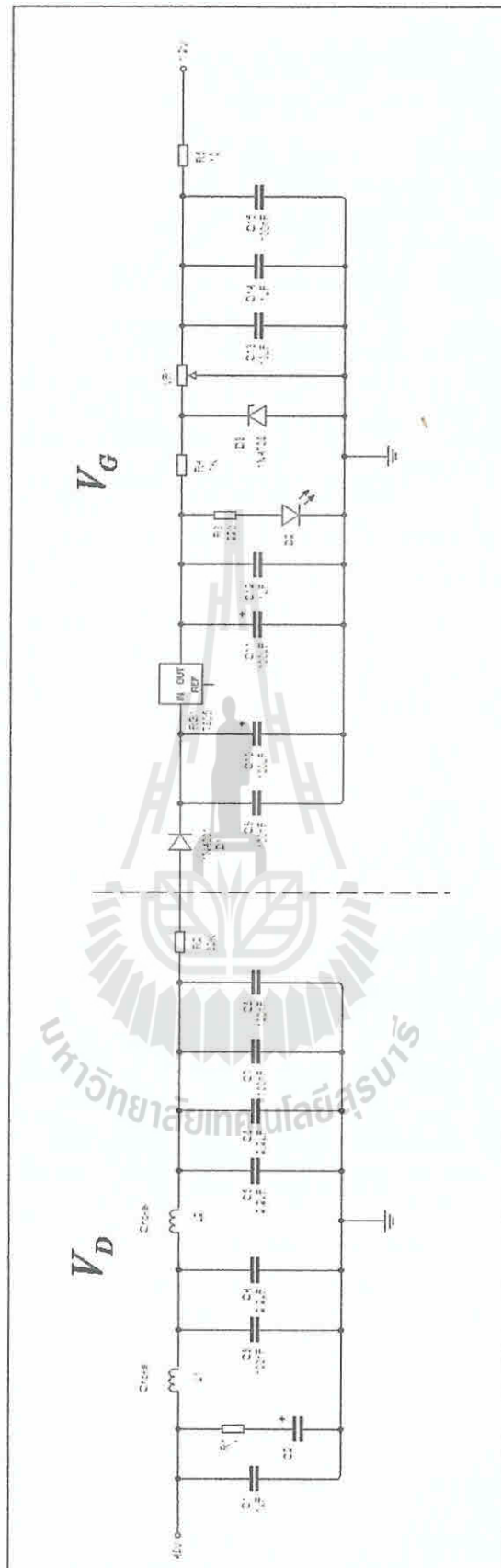
การไบอัสวงจรมายังถึงการจ่ายไฟให้กับวงจร ซึ่งทรานซิสเตอร์เบอร์ BLF578 เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด LDMOS โดยถูกออกแบบมาเพื่อการใช้งานที่สัญญาณความถี่สูงและแรงดันสูง การไบอัสของทรานซิสเตอร์ชนิด LDMOS จะทำการไบอัสสองส่วน คือ ไบอัสที่ขาเกตและไบอัสที่ขาเดรน การไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิดนี้จะไบอัสเพื่อรักษาระดับของ I_{DQ} ไม่ให้เปลี่ยนแปลงมาก โดยการที่จะรักษาระดับของ I_{DQ} นั้นจะทำได้โดยการรักษาระดับแรงดันที่ขาเกตของทรานซิสเตอร์ให้คงที่ โดยจะใช้วงจรรักษาระดับแรงดัน (Voltage regulator) ในการคงค่าแรงดันที่ขาเกต ซึ่งจะมีค่าประมาณ 1.2-1.5 โวลต์ ส่วนที่ขาเดรนนั้นจะอยู่ที่ประมาณ 48 โวลต์ โดยวงจรไบอัสที่ขาเดรนั้นก็จะมีตัวเหนี่ยวนำค่ามากๆ (Choke) เพื่อเอาไว้ป้องกันสัญญาณกระแสดลับไม่ให้เข้ามาควนสัญญาณกระแสตรงได้ และยังมีตัวเก็บประจุต่อกราวด์เพื่อปรับสัญญาณไฟเลี้ยงวงจรกระแสตรงให้เรียบ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.13 โครงสร้างของวงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด LDMOS

ในการออกแบบวงจรไบอัสนี้ จะเลือกใช้ IC7805 ในการออกแบบวงจรรักษา ระดับแรงดันที่ขาเกตร่วมกับวงจรรักษาระดับแรงดันอย่างง่ายที่ใช้ซีเนอร์ไดโอดเบอร์ 1N4708 กับ ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 1000 โอห์ม (W103) โดยอินพุตของวงจรรวมนี้จะแบ่งแรงดันมาจากขา เคน 48 โวลต์ แล้วใช้ตัวต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์ม ต่ออนุกรมเพื่อลดแรงดันและกระแส โดย เมื่อป้อนแรงดันที่ประมาณ 1.25 โวลต์ ระดับกระแส I_{DQ} จะอยู่ที่ประมาณ 60 มิลลิแอมป์

และในการออกแบบวงจรไบอัสที่ขาเคนนั้นจะมีระดับแรงดัน 48 โวลต์ โดยเรา จะใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีค่ามากๆ มาต่ออนุกรมเพื่อป้องกันไฟกระแสสลับเข้ามาจนไฟกระแสตรง และยังใช้ตัวเก็บประจุต่อคร่อมกับกราวด์เพื่อปรับให้ไฟกระแสตรงเรียบมากขึ้น วงจรไบอัสที่ขา เคนนั้นต้องการอุปกรณ์ที่สามารถทนความร้อนและกระแสที่สูงได้ โดยที่กระแสที่ไหลผ่านนั้นจะ อยู่ที่ประมาณ 0-20 แอมป์ ขึ้นกับระดับสัญญาณอินพุตของวงจรขยายด้วย



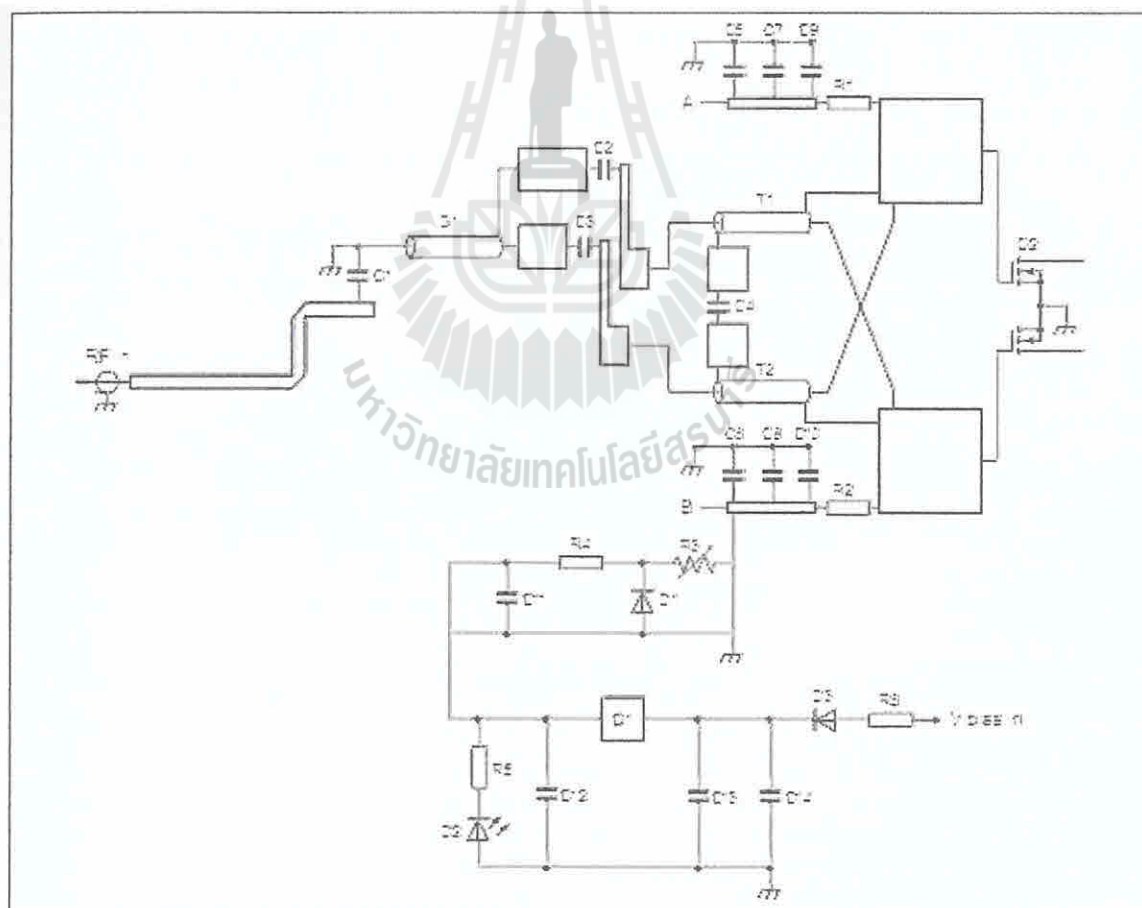
รูปที่ 4.14 วงจรไบอัสทรานซิสเตอร์ LDMOS ที่ออกแบบ

4.2 การสร้างวงจรขยายสัญญาณวิทยุ ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์

ในการสร้างวงจรขยายกำลังสัญญาณวิทยุในย่านเอฟเอ็มนี้ จะนำเอาการออกแบบวงจรที่ได้คำนวณมาจากข้างต้น มาประกอบเข้าด้วยกันให้เป็นวงจรขยายสัญญาณวิทยุ โดยจะคิดแยกเป็นวงจรทางด้านอินพุตและวงจรทางด้านเอาท์พุต โดยใช้มอสเฟต เบอร์ BLF578 เป็นตัวขยายสัญญาณ โดยจะไบอัสที่ขาเกรน 48 โวลต์ ระบายความร้อนด้วยแผ่นทองแดงหนา 6 มิลลิเมตรและซิงค์ระบายความร้อนขนาด $7 \times 15 \times 2.5$ นิ้ว

4.2.1 วงจรขยายสัญญาณวิทยุด้านอินพุต

วงจรขยายสัญญาณวิทยุด้านอินพุต จะประกอบด้วย วงจรบาลัน วงจรขยายสัญญาณ วงจรไบอัส รวมไปถึงการออกแบบหาแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์



รูปที่ 4.16 วงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุด้านอินพุต

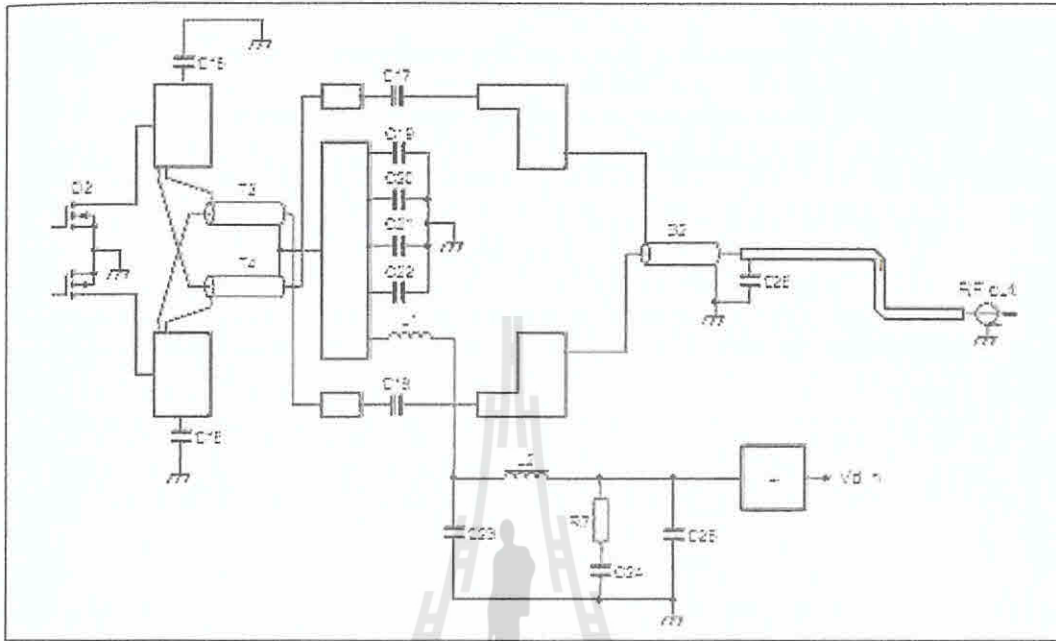
โดยสามารถอธิบายอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรได้ดังนี้

Designator	Description
B1	5.95" Semi Rigid Coaxial Cable RG405
T1, T2	2.76" M17/152 Semi Rigid Coaxial Cable M17/152
C1	20 pF
C2, C3	4700 pF
C4	560 pF
C5, C6	10 μ F
C7, C8, C11	1 μ F
C9, C10, C14	100 nF
C12, C13	100 μ F
R1, R2	10 Ω
R3	1000 Ω Potentiometer
R4	1k Ω
R5	220 Ω
R6	10k Ω
D1	Zener diode 1N4708, 3.3V
D2	Diode Green LED
D3	1N4001
Q1	7805 Voltage regulator
Q2	BLF578

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าต่างๆ ของวงจรขยายกำลังสัญญาณคลื่นวิทยุต้านอินพุต

4.2.2 วงจรขยายสัญญาณวิทยุด้านเอาต์พุต

วงจรด้านเอาต์พุต มีหลักการทำงานและการออกแบบที่คล้ายกันกับวงจรอินพุต เพียงแต่ไม่มีการออกแบบวงจรไบอัส

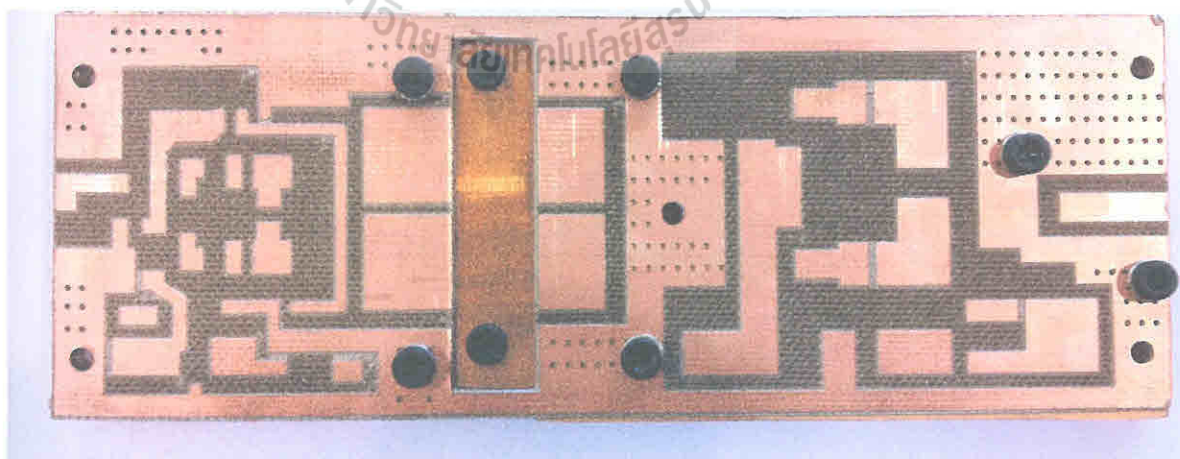


รูปที่ 4.17 คลื่นวิทยุวงจขยายกำลังส่งสัญญาณด้านเอาต์พุต

โดยสามารถอธิบายอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรได้ดังนี้

Designator	Description
Q2	BLF578
T3, T4	4.1" Coaxial Cable EZ-141
B2	5.94" Coaxial Cable RG402
C15, C16	230 pF
C17, C18	330 pF
C19, C20, C23	100 nF
C21, C22	2.2 μ F
C24	Electrolyte 220 μ F, 63V
C25	4.7 nF
C26	22 pF
L1	AWG 12 – 10Turn ϕ 10mm
L2	AWG 12 Through ferrite
R7	1 Ω

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าต่างๆ ของวงจรขยายกำลังสัญญาณคลื่นวิทยุด้านเอาต์พุต

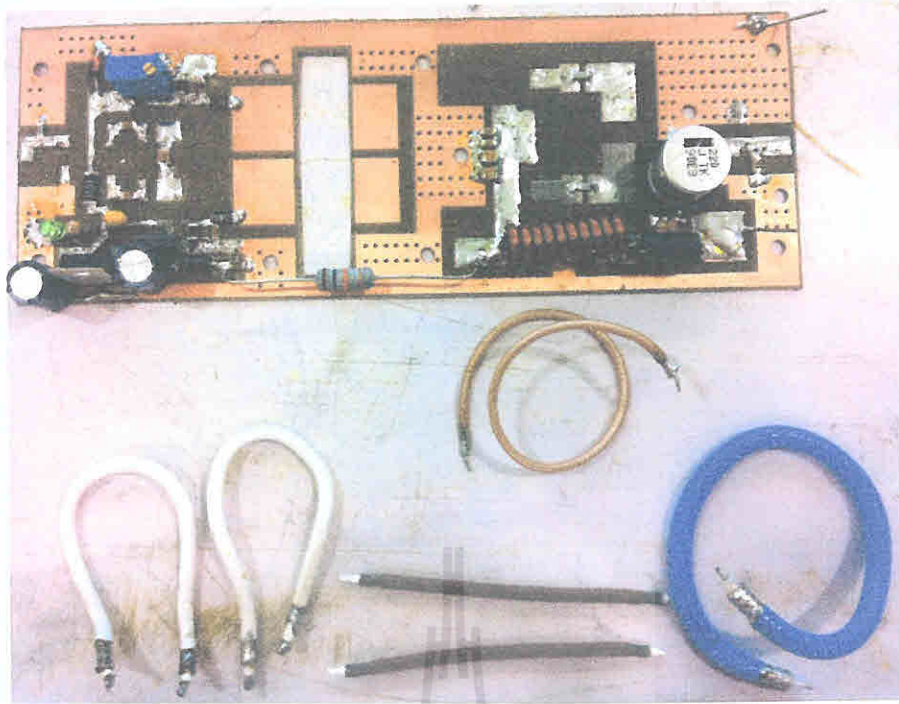


รูปที่ 4.18 แผงวงจรจริงที่พร้อมลงอุปกรณ์

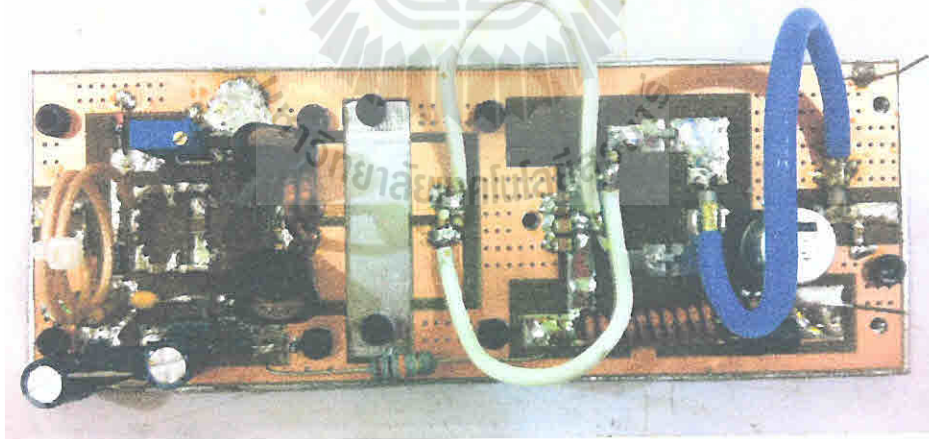


รูปที่ 4.19 อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบในวงจรบางส่วน

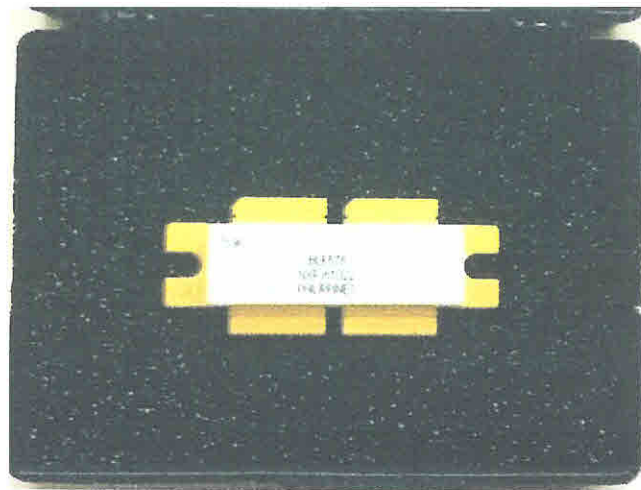




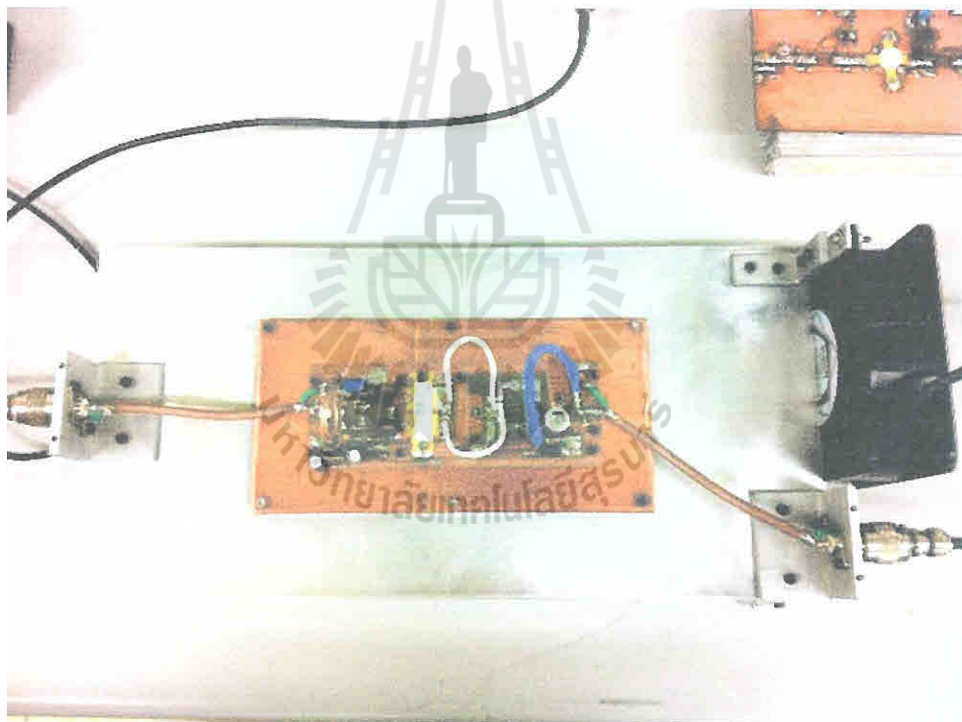
รูปที่ 4.20 แผงวงจรที่ลงอุปกรณ์บางส่วนและสายส่งสัญญาณ



รูปที่ 4.21 แผงวงจรเมื่อลงอุปกรณ์สำเร็จ



รูปที่ 4.22 ทรานซิสเตอร์ BLF578



รูปที่ 4.23 วงจรที่ประกอบสำเร็จ พร้อมทั้งติดตั้งระบบระบายความร้อน

บทที่ 5

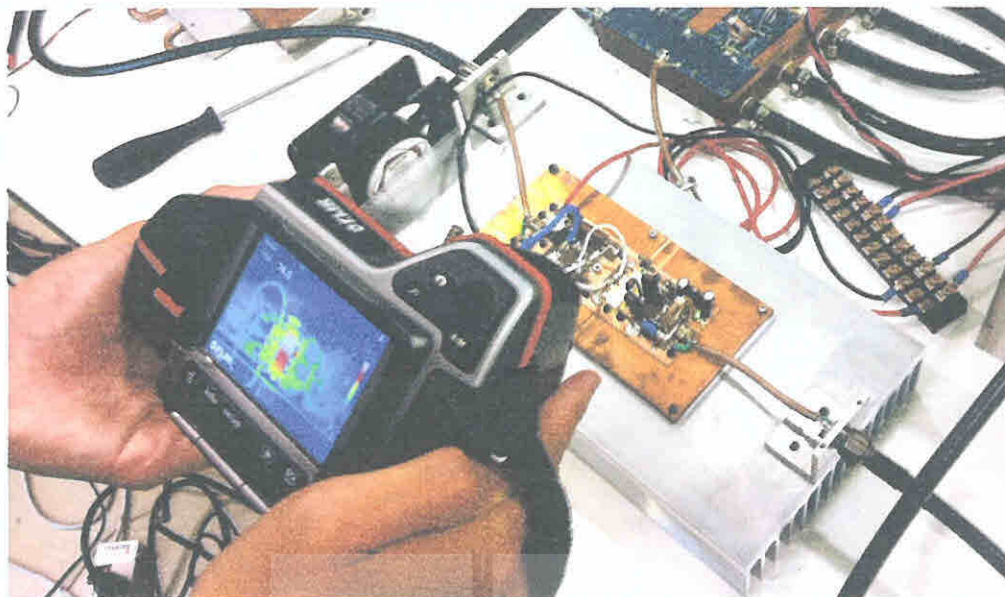
ผลการทดลอง

5.1 การวัดผลการทดลองวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในย่านความถี่เอฟเอ็ม

ในการทดลองวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในย่านความถี่เอฟเอ็มนี้ จะเลือกทำการทดลองที่ค่าความถี่ 88, 98 และ 108 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยจ่ายแรงดันที่ขาเครนเท่ากับ 48 โวลต์ และจ่ายแรงดันที่ขาเกตเท่ากับ 1.2-1.5 โวลต์ และได้ทำการวัดกำลังของสัญญาณอินพุต กำลังของสัญญาณเอาต์พุต อุณหภูมิของทรานซิสเตอร์ และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาอัตราขยายและประสิทธิภาพการทำงานของวงจร โดยใช้อุปกรณ์ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองบางส่วน

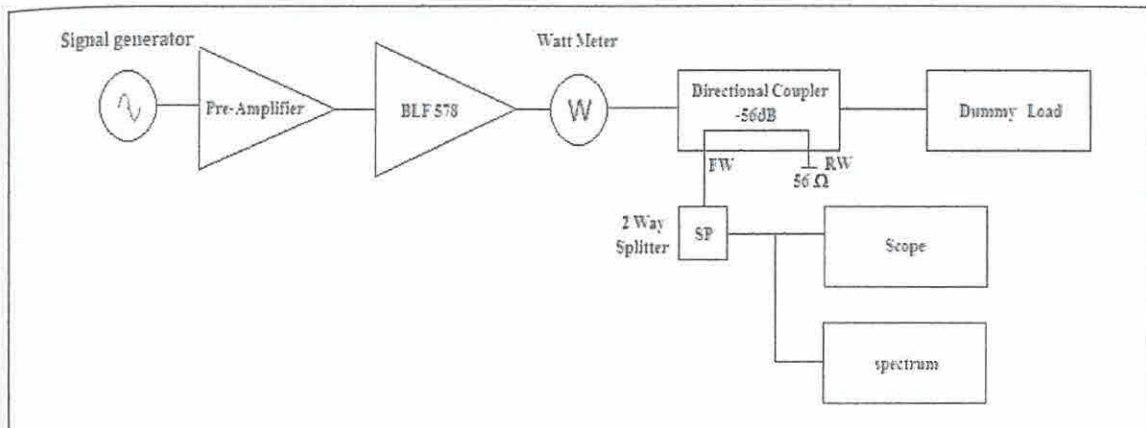


รูปที่ 5.2 Infrared camera ที่ใช้วัดอุณหภูมิของทรานซิสเตอร์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. Signal generator
2. Pre-amplifier
3. Power amplifier
4. Watt meter
5. Directional Coupler -56dB
6. Dummy load
7. 2-Way splitter
8. Spectrum analyzer
9. Infrared camera
10. DC Power Supply
11. Oscilloscope

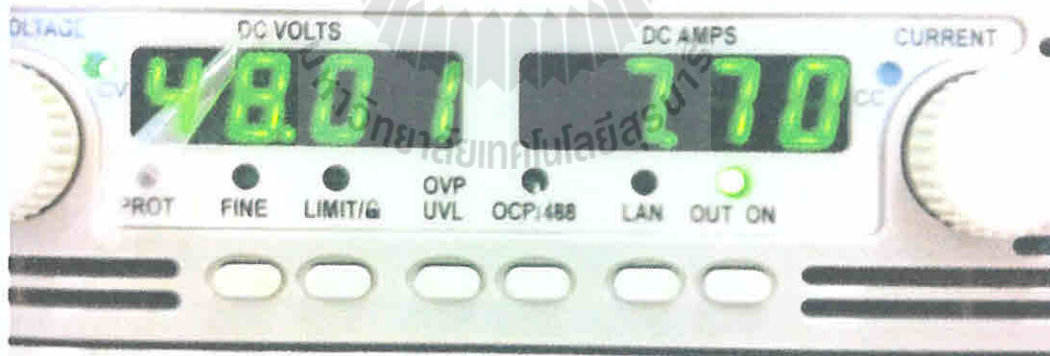
และได้ทำการเตรียมอุปกรณ์ในการทดลองวงจร โดยมีลักษณะดังนี้



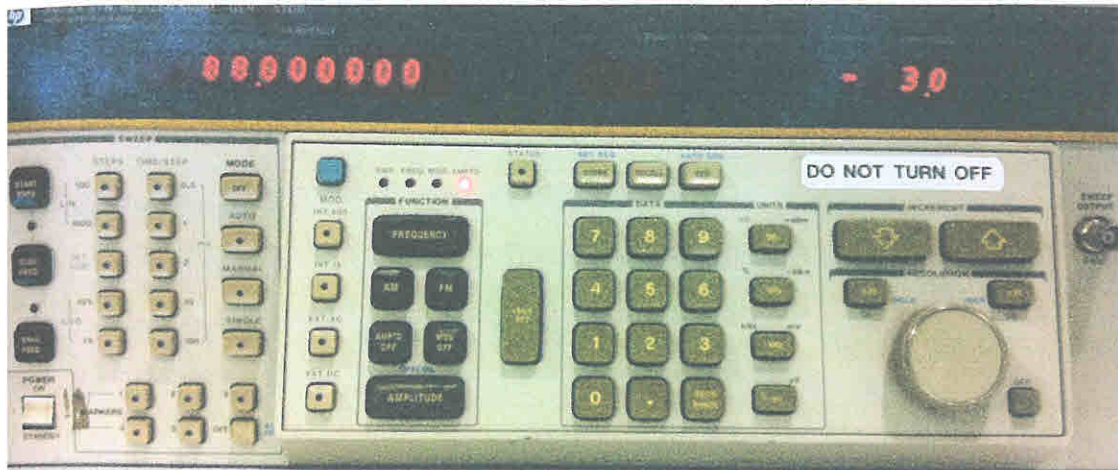
รูปที่ 5.3 บล็อกไดอะแกรมแสดงลักษณะการทดลองวงจร

5.1.1 การทดลองวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์

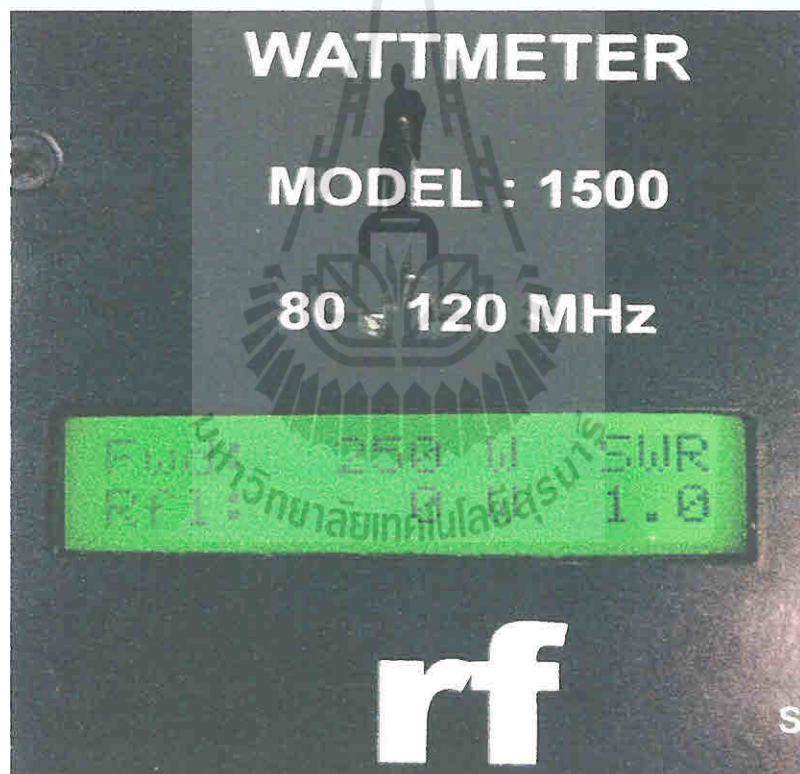
เริ่มทำการทดลองวงจรจากการต่อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ตามรูปที่ 5.3 และทำการปรับค่าที่ Signal generator โดยใช้ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์ และทำการจ่ายแอมพลิจูดที่ -20 dBm เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และใช้ Infrared camera เป็นตัววัดอุณหภูมิ โดยการทดลองนี้จะกำหนดอุณหภูมิให้ไม่เกินประมาณ 80°C และทำการวัดกำลังของสัญญาณเอาท์พุท โดยใช้ Watt meter



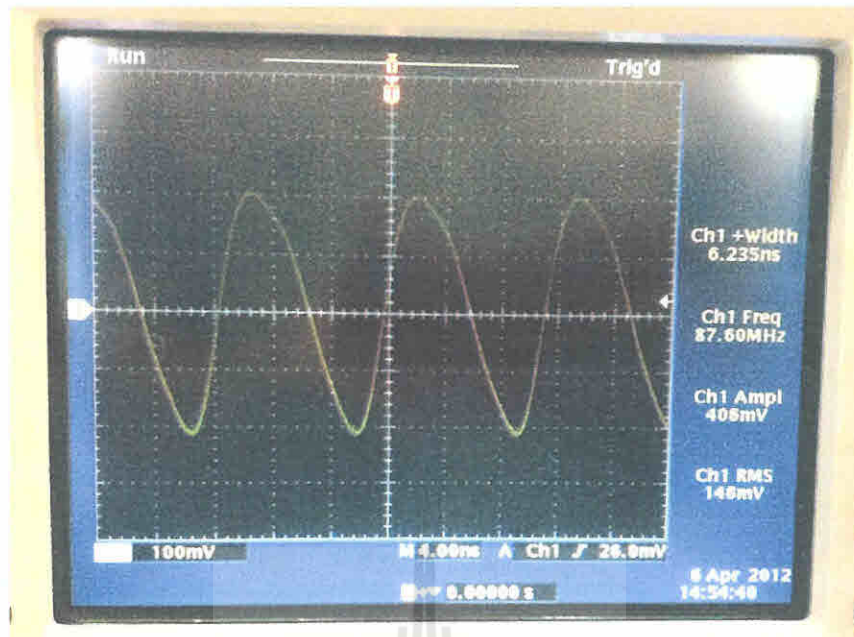
รูปที่ 5.4 จ่ายแรงดันเข้าที่ขั้วครนเท่ากับ 48 โวลต์



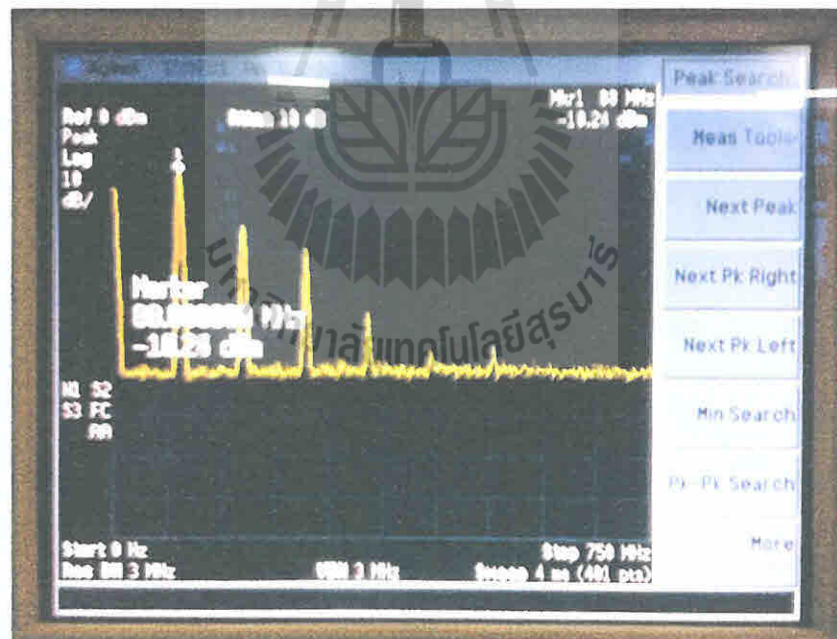
รูปที่ 5.5 ปรับค่า Signal generator ให้ได้ความถี่ที่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 5.6 ค่าสูงสุดของกำลังของสัญญาณเอาต์พุตที่วัดได้โดย Watt meter ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 5.7 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่กำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุดใน Oscilloscope ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 5.8 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่กำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุดใน Spectrum analyzer ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์

และจะได้ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองดังนี้

OSC (dBm)	P_{in} (W)	V_s (V)	I_s (A)	P_{out} (W)			Temperature ($^{\circ}$ C)
				FW	RW	SWR	
-20	0.0186	48	0.79	0	0	1.0	43.9
-19	0.021	48	0.89	2	0	1.0	43.9
-18	0.029	48	1.02	2	0	1.0	44.1
-17	0.0342	48	1.17	4	0	1.0	44.4
-16	0.0487	48	1.38	9	0	1.0	46.7
-15	0.0637	48	1.57	13	0	1.0	48.3
-14	0.076	48	1.81	18	0	1.0	50.1
-13	0.105	48	2.08	24	0	1.0	52.0
-12	0.148	48	2.40	31	0	1.0	54.3
-11	0.179	48	2.78	43	0	1.0	56.9
-10	0.203	48	3.18	52	0	1.0	58.9
-9	0.253	48	3.64	63	0	1.0	60.3
-8	0.316	48	4.16	79	0	1.0	64.1
-7	0.395	48	4.77	95	0	1.0	66.3
-6	0.495	48	5.22	121	0	1.0	68.2
-5	0.65	48	5.99	160	0	1.0	69.0
-4	0.806	48	6.96	208	0	1.0	71.6
-3	1	48	7.70	250	0	1.0	82.2

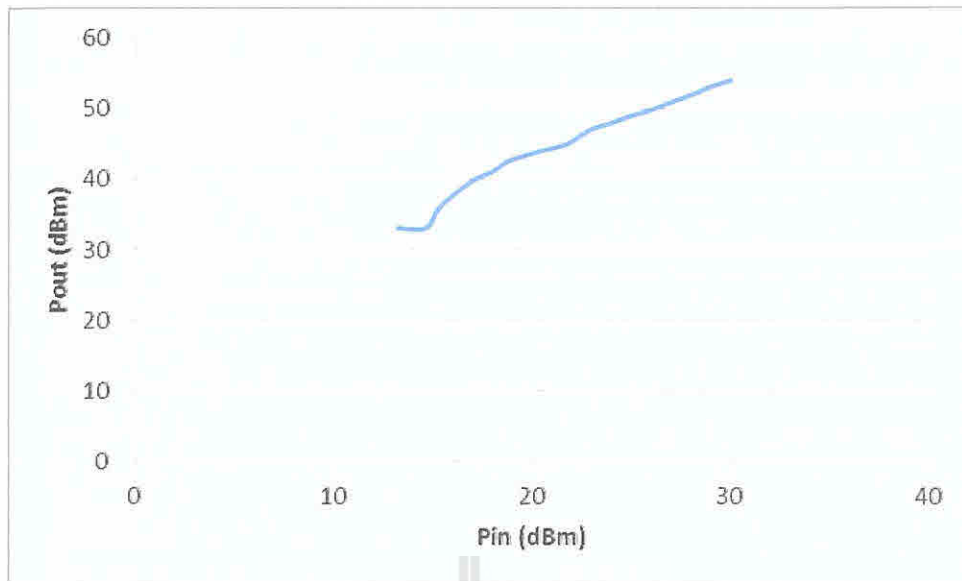
ตารางที่ 5.1 ค่าจากการทดลองวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์

จากตารางที่ 5.1 จะสามารถนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาค่ากำลังของสัญญาณอินพุต (dBm) กำลังของสัญญาณเอาต์พุต(dBm) อัตราขยายและประสิทธิภาพของวงจรได้ด้วยสมการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งจะได้อ่านค่าต่างๆ ดังนี้

OSC (dBm)	P_{in} (dBm)	P_{out} (dBm)	Gain (dB)	Efficiency (%)
-20	12.70	-	-	0.00
-19	13.22	33.01	19.79	4.63
-18	14.62	33.01	18.39	4.03
-17	15.34	36.02	20.68	7.06
-16	16.88	39.54	22.67	13.51
-15	18.04	41.14	23.10	17.17
-14	18.81	42.55	23.74	20.63
-13	20.21	43.80	23.59	23.93
-12	21.70	44.91	23.21	26.78
-11	22.53	46.33	23.81	32.09
-10	23.07	47.16	24.09	33.93
-9	24.03	47.99	23.96	35.91
-8	25.00	48.98	23.98	39.41
-7	25.97	49.78	23.81	41.32
-6	26.95	50.83	23.88	48.09
-5	28.13	52.04	23.91	55.42
-4	29.06	53.18	24.12	62.02
-3	30.00	53.98	23.98	67.37

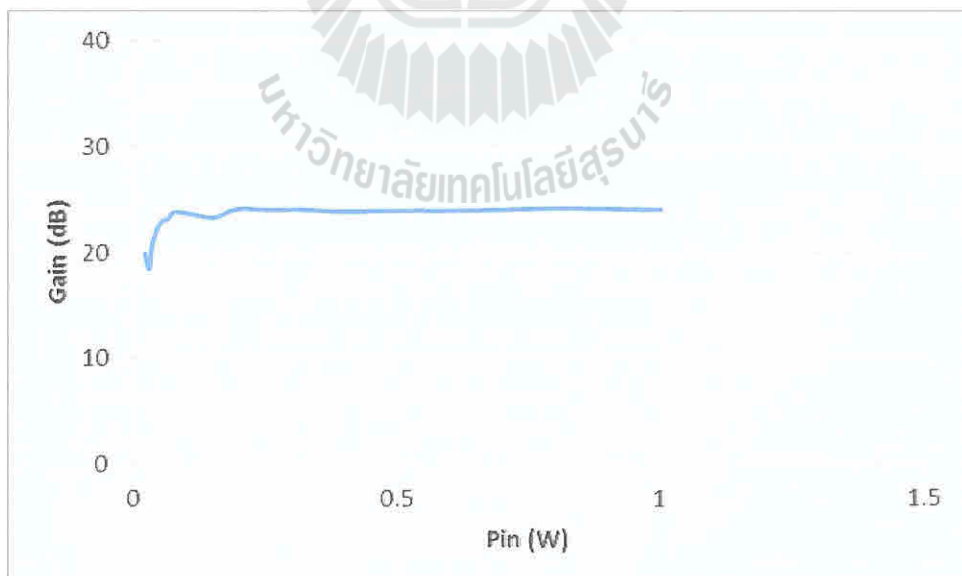
ตารางที่ 5.2 ค่าที่ได้จากการคำนวณของวงจรถยายสัญญาณที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์

และจากตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2 จะสามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพัทธ์ได้ดังนี้



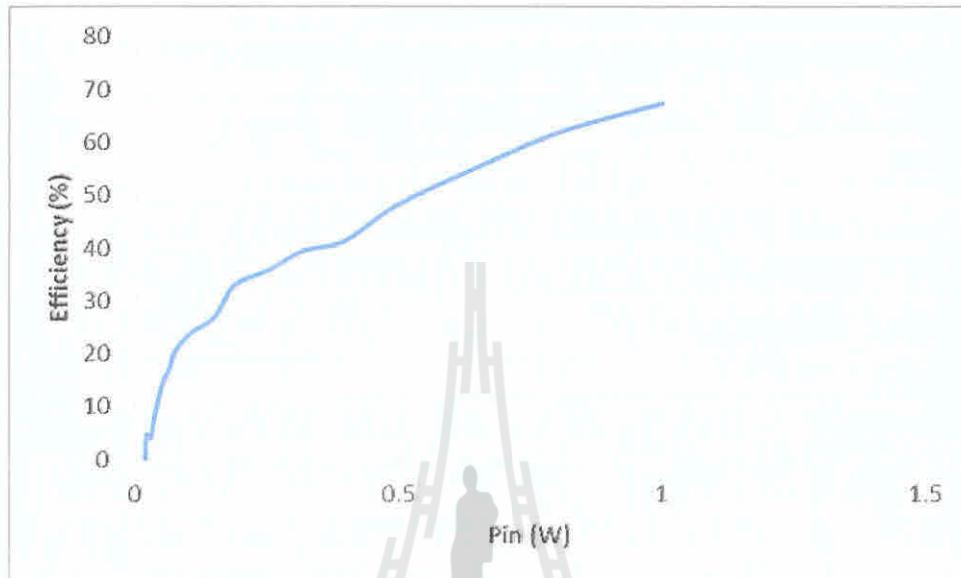
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณเอาต์พุต (P_{out}) กับกำลังของสัญญาณอินพุต (P_{in}) ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 5.9 จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตให้กับวงจรมากขึ้น ค่ากำลังของสัญญาณเอาต์พุตก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่าวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณวิทยุนี้มีการขยายกำลังตามจุดประสงค์ที่ต้องการ



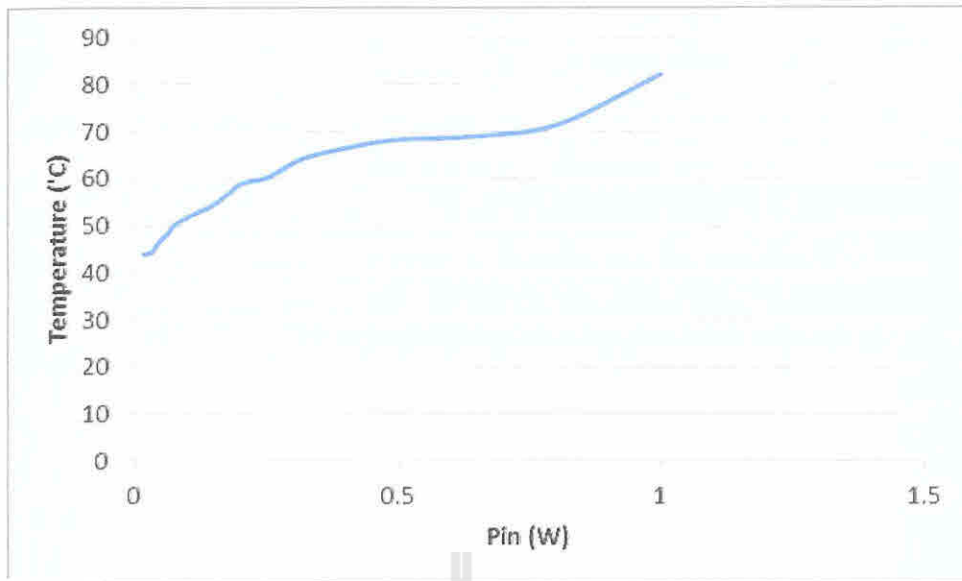
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย (Gain) กับกำลังของสัญญาณอินพุต (P_{in}) ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าที่กำลังของสัญญาณอินพุตประมาณ 0.02-0.04 วัตต์ อัตราขยายจะไม่คงที่ แต่จะมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และอัตราขยายจะค่อนข้างคงที่เมื่อกำลังของสัญญาณอินพุตอยู่ที่ประมาณ 0.05 วัตต์ โดยที่อัตราขยายจะเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 23 dB



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงาน (Efficiency) กับกำลังของสัญญาณอินพุต (P_{in}) ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิรต์ซ์

จากรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตให้กับวงจรมากขึ้น ค่าประสิทธิภาพการทำงานของวงจรก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และจะเห็นได้ว่าในช่วงที่กำลังของสัญญาณอินพุตต่ำๆ นั้น ค่าประสิทธิภาพการทำงานของวงจรจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะค่อยๆ สูงขึ้นอย่างคงที่เมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตมากขึ้นไปเรื่อยๆ



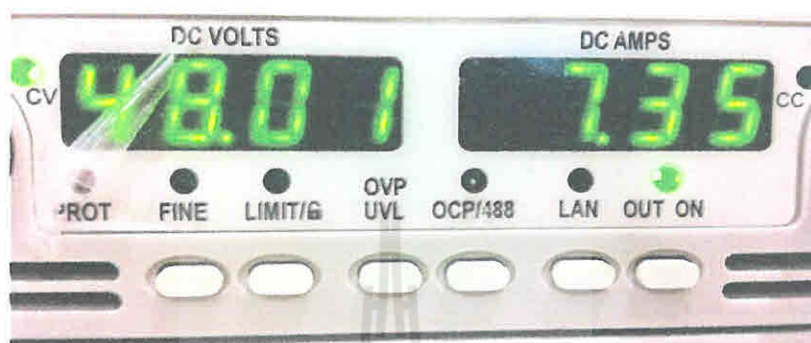
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ(Temperature) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 5.12 จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตให้กับวงจรมากขึ้น อุณหภูมิของวงจรก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยอุณหภูมิจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตในช่วง 0.1-0.4 วัตต์ และช่วง 0.8-1 วัตต์ โดยที่กำลังของสัญญาณอินพุตในช่วง 0.4-0.8 วัตต์นั้น อุณหภูมิของวงจรจะมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่

5.1.2 การทดลองวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่มีความถี่ 98 เมกะเฮิรต์ซ์

เริ่มทำการทดลองวงจรจากการต่อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ตามรูปที่ 5.3 และทำการปรับค่าที่ Signal generator โดยให้ความถี่ 98 เมกะเฮิรต์ซ์ และทำการทดลองเหมือนกับการทดลองที่

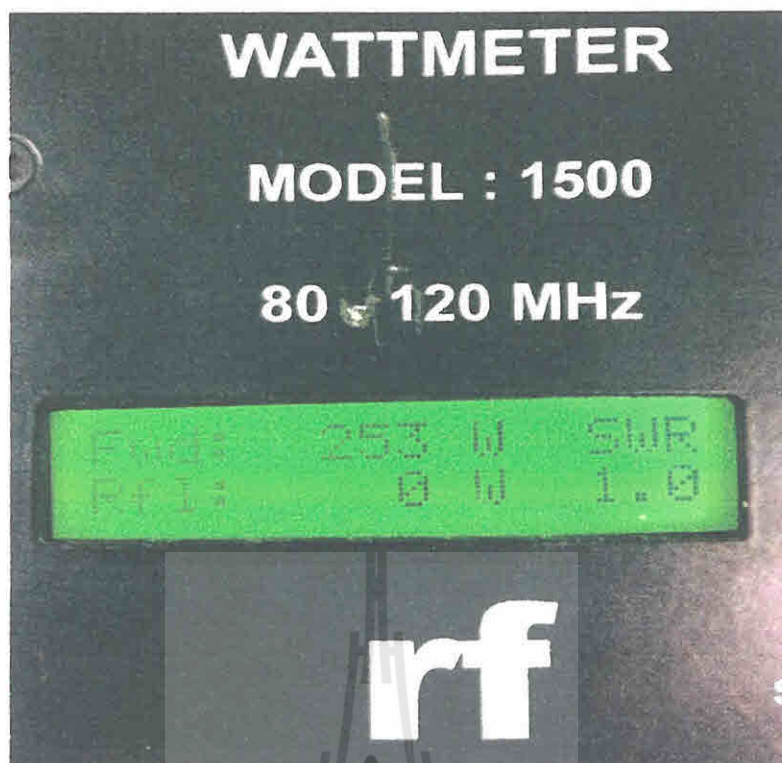
5.1.1



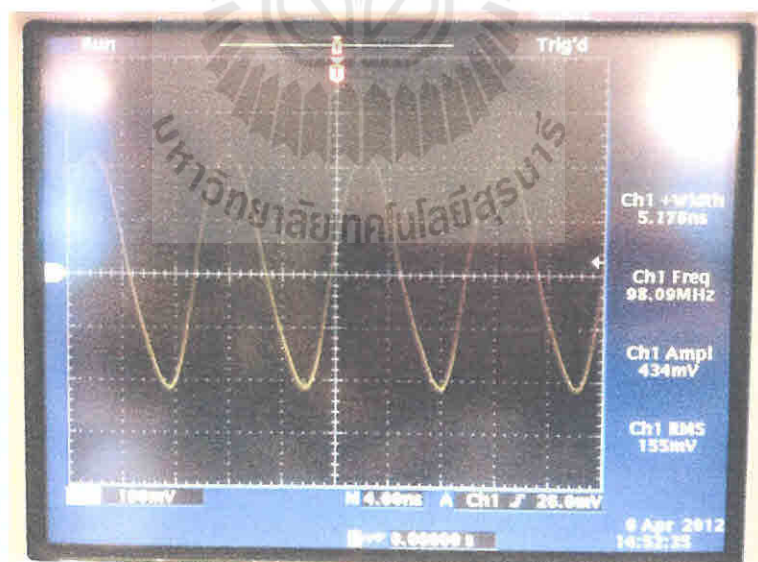
รูปที่ 5.13 ถ่ายแรงดันเข้าที่ขาคอนแทกกับ 48 โวลต์



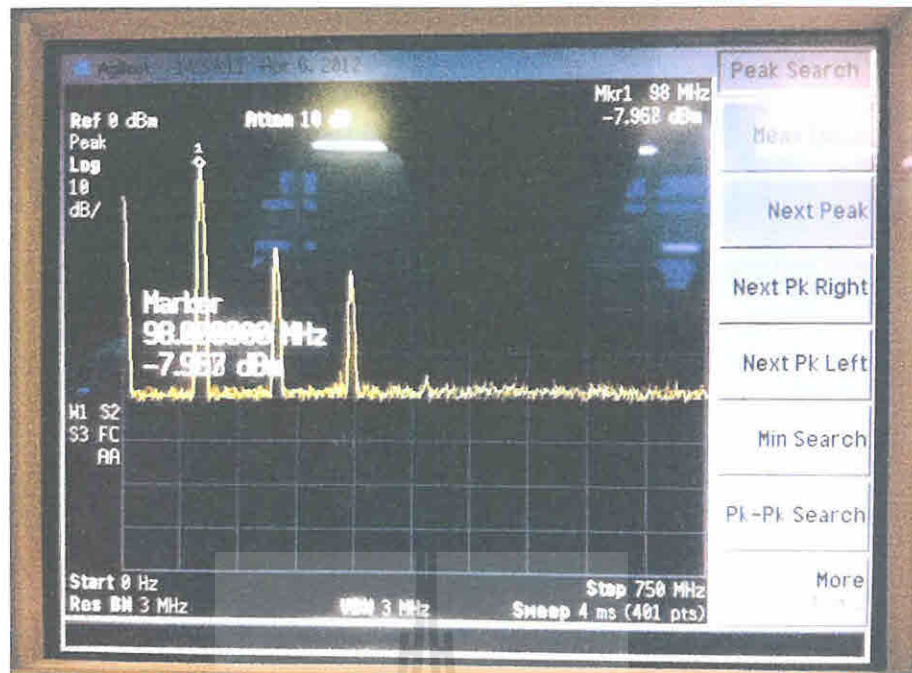
รูปที่ 5.14 ปรับค่า Signal generator ให้ได้ความถี่ที่ 98 เมกะเฮิรต์ซ์



รูปที่ 5.15 ค่าสูงสุดของกำลังของสัญญาณเอาต์พุตที่วัดได้โดย Watt meter ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 5.16 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่กำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุดใน Oscilloscope ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 5.17 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่กำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุดใน Spectrum analyzer ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์



และจะได้ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองดังนี้

OSC (dBm)	P_{in} (W)	V_s (V)	I_s (A)	P_{out} (W)			Temperature ($^{\circ}$ C)
				FW	RW	SWR	
-20	0.0186	48	0.75	0	0	1.0	47.1
-19	0.021	48	0.84	2	0	1.0	47.3
-18	0.029	48	0.94	4	0	1.0	47.5
-17	0.0342	48	1.06	6	0	1.0	47.6
-16	0.0487	48	1.21	9	0	1.0	48.4
-15	0.0637	48	1.4	13	0	1.0	49.9
-14	0.076	48	1.58	18	0	1.0	51
-13	0.105	48	1.8	24	0	1.0	52.5
-12	0.148	48	2.05	31	0	1.0	54.5
-11	0.179	48	2.33	40	0	1.0	56.3
-10	0.203	48	2.72	52	0	1.0	58.9
-9	0.253	48	3.08	63	0	1.0	60.5
-8	0.316	48	3.49	74	0	1.0	61.9
-7	0.395	48	3.97	90	0	1.0	63.4
-6	0.495	48	4.51	119	0	1.0	65
-5	0.65	48	5.15	139	0	1.0	65
-4	0.806	48	5.84	177	0	1.0	67.6
-3	1	48	6.66	216	0	1.0	72.9
-2	1.25	48	7.35	253	0	1.0	78.5

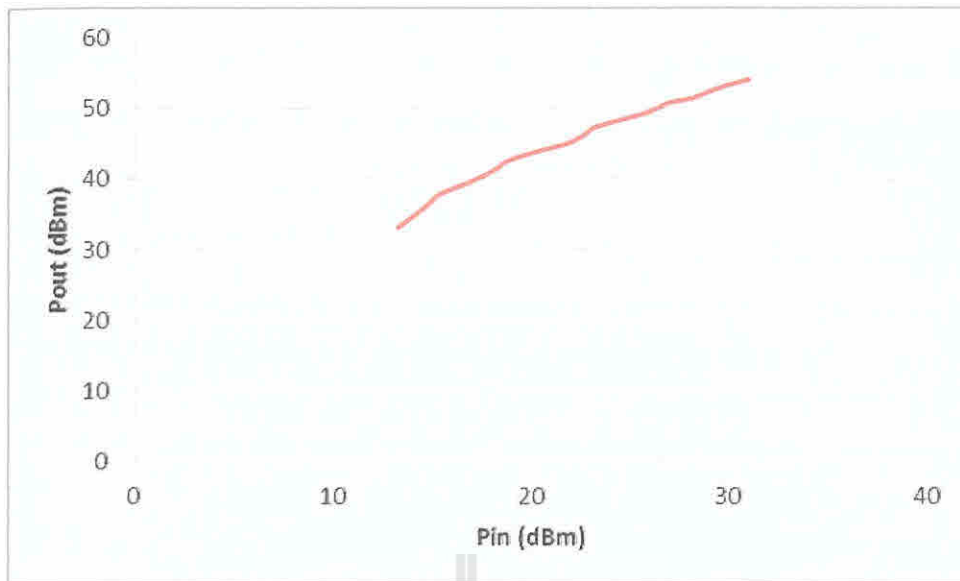
ตารางที่ 5.3 ค่าจากการทดลองวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์

จากตารางที่ 5.3 จะสามารถนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาค่ากำลังของสัญญาณอินพุต (dBm) กำลังของสัญญาณเอาต์พุต (dBm) อัตราขยายและประสิทธิภาพของวงจรได้ด้วยสมการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งจะได้ค่าต่างๆ ดังนี้

OSC (dBm)	P_{in} (dBm)	P_{out} (dBm)	Gain (dB)	Efficiency (%)
-20	12.70	-	-	0.00
-19	13.22	33.01	19.79	4.91
-18	14.62	36.02	21.40	8.80
-17	15.34	37.78	22.44	11.73
-16	16.88	39.54	22.67	15.41
-15	18.04	41.14	23.10	19.25
-14	18.81	42.55	23.74	23.63
-13	20.21	43.80	23.59	27.66
-12	21.70	44.91	23.21	31.35
-11	22.53	46.02	23.49	35.61
-10	23.07	47.16	24.09	39.67
-9	24.03	47.99	23.96	42.44
-8	25.00	48.69	23.70	43.99
-7	25.97	49.54	23.58	47.02
-6	26.95	50.76	23.81	54.74
-5	28.13	51.43	23.30	55.97
-4	29.06	52.48	23.42	62.85
-3	30.00	53.34	23.34	67.25
-2	30.97	54.03	23.06	71.36

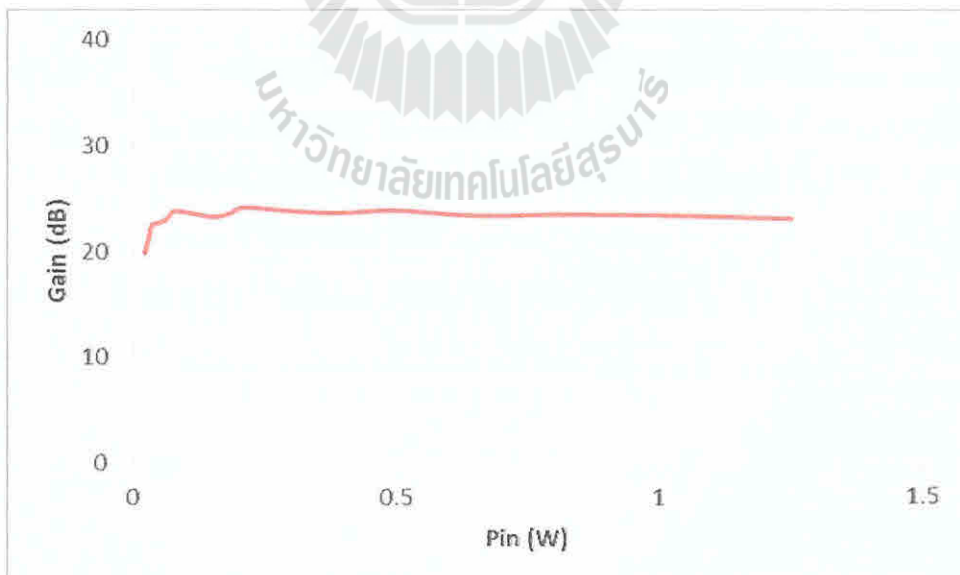
ตารางที่ 5.4 ค่าที่ได้จากการคำนวณของวงจรถยายสัญญาณที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์

และจากตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4 จะสามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ได้ดังนี้



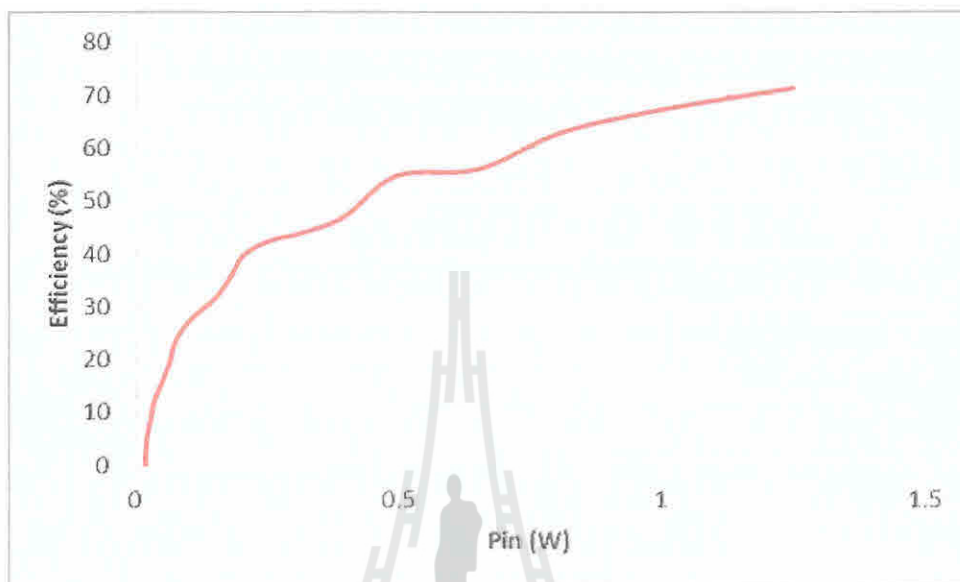
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณเอาต์พุต (P_{out}) กับกำลังของสัญญาณอินพุต (P_{in}) ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 5.18 จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตให้กับวงจรมากขึ้น ค่ากำลังของสัญญาณเอาต์พุตก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



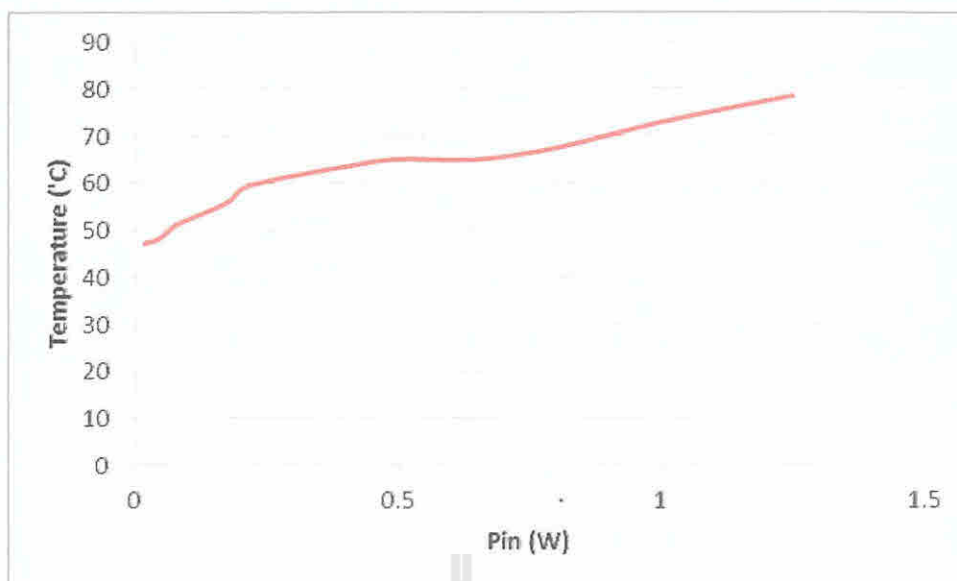
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย (Gain) กับกำลังของสัญญาณอินพุต (P_{in}) ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 5.19 จะเห็นได้ว่าที่กำลังของสัญญาณอินพุตประมาณ 0.02-0.2 วัตต์ อัตราขยายจะไม่คงที่ และอัตราขยายจะค่อนข้างคงที่เมื่อกำลังของสัญญาณอินพุตอยู่ที่ประมาณ 0.2 วัตต์ขึ้นไป โดยที่อัตราขยายจะเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 23 dB



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงาน (Efficiency) กับกำลังของสัญญาณอินพุต (P_{in}) ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิรตซ์

จากรูปที่ 5.20 จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตให้กับวงจรมากขึ้น ค่าประสิทธิภาพการทำงานของวงจรก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่จะไม่ค่อยคงที่ไม่ว่าจะป้อนสัญญาณอินพุตเข้าไปเท่าไรก็ตาม และจะเห็นได้ว่าในช่วงที่กำลังของสัญญาณอินพุตต่ำๆ นั้น ค่าประสิทธิภาพการทำงานของวงจรจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว



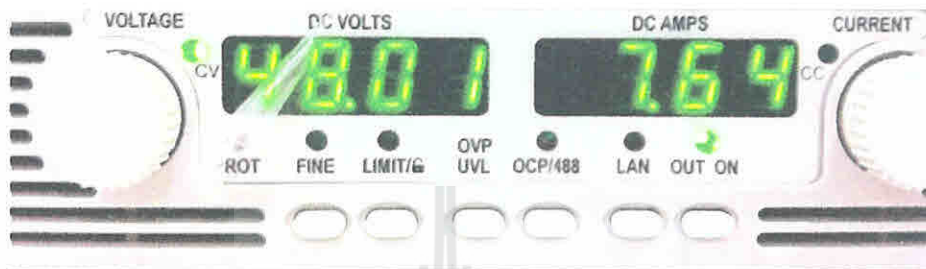
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ(Temperature) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 5.21 จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตให้กับวงจรมากขึ้น อุณหภูมิของวงจรก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยจากรูปอุณหภูมิจะค่อนข้างคงที่ในช่วงสัญญาณอินพุต เท่ากับ 0.5-0.7 วัตต์



5.1.3 การทดลองวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์

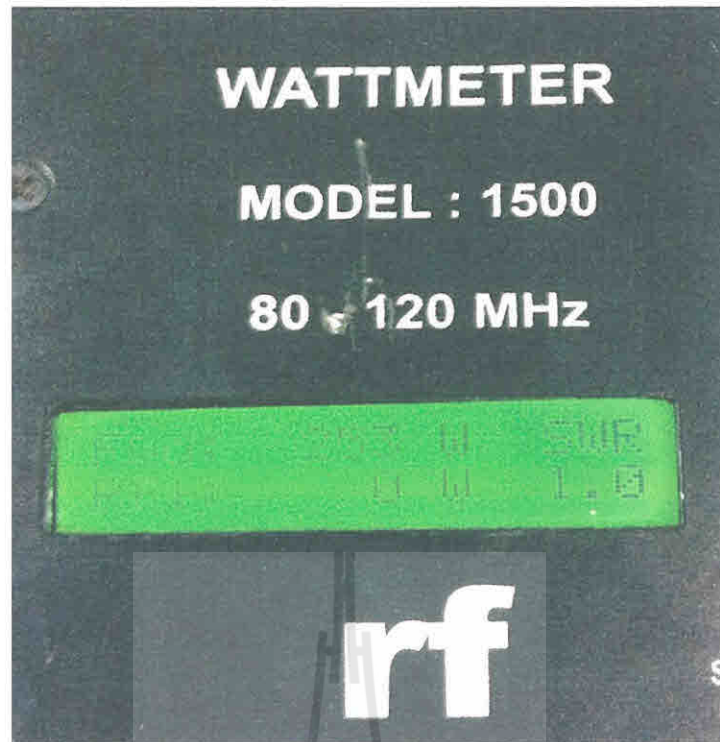
เริ่มทำการทดลองวงจรจากการต่อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ตามรูปที่ 5.3 และทำการปรับค่าที่ Signal generator โดยใช้ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์ และทำการทดลองเหมือนกับการทดลองที่ 5.1.1 และการทดลองที่ 5.1.2



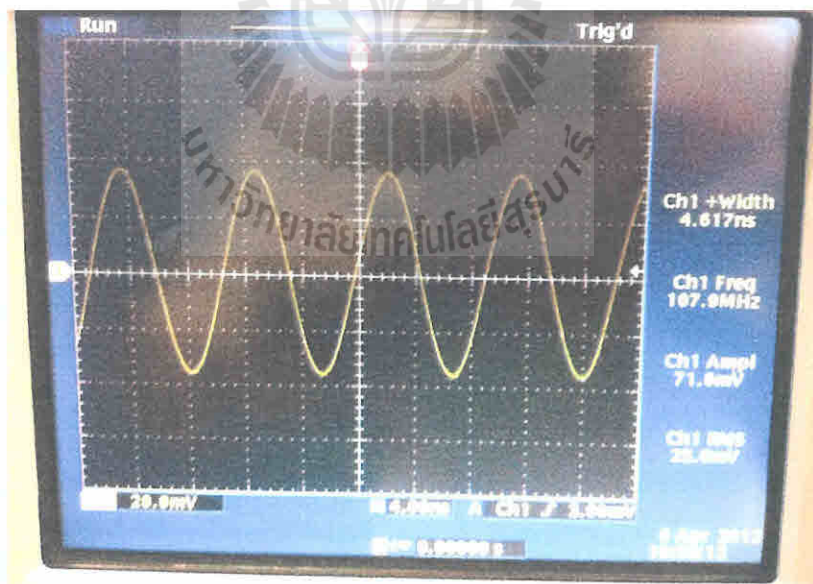
รูปที่ 5.22 ถ่ายแรงดันเข้าที่ขาคอนแทกกับ 48 โวลต์



รูปที่ 5.23 ปรับค่า Signal generator ให้ได้ความถี่ที่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 5.24 ค่าสูงสุดของกำลังของสัญญาณเอาต์พุตที่วัดได้โดย Watt meter ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 5.25 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่กำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุดใน Oscilloscope ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์



รูปที่ 5.26 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่กำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุดใน Spectrum analyzer ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์

และจะได้ค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลองดังนี้

OSC (dBm)	P_{in} (W)	V_s (V)	I_s (A)	P_{out} (W)			Temperature ($^{\circ}$ C)
				FW	RW	SWR	
-20	0.0186	48	0.84	2	0	1.0	50
-19	0.021	48	0.94	2	0	1.0	50.3
-18	0.029	48	1.09	6	0	1.0	50.3
-17	0.0342	48	1.23	9	0	1.0	50.7
-16	0.0487	48	1.39	13	0	1.0	52.8
-15	0.0637	48	1.58	18	0	1.0	54.4
-14	0.076	48	1.79	22	0	1.0	55.9
-13	0.105	48	2.07	31	0	1.0	57.8
-12	0.148	48	2.34	38	0	1.0	59.4
-11	0.179	48	2.65	47	0	1.0	62.3
-10	0.203	48	3	56	0	1.0	63
-9	0.253	48	3.4	70	0	1.0	65.8
-8	0.316	48	4	86	0	1.0	68.4
-7	0.395	48	4.52	114	0	1.0	69.9
-6	0.495	48	5.12	134	0	1.0	70.6
-5	0.65	48	5.8	168	0	1.0	70.2
-4	0.806	48	6.6	205	0	1.0	72.5
-3	1	48	7.64	253	0	1.0	79.9

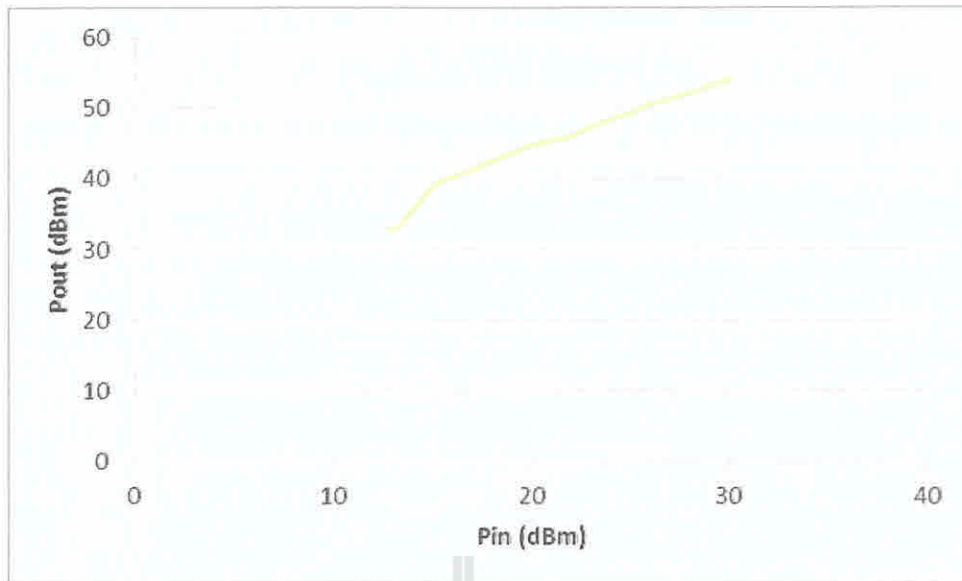
ตารางที่ 5.5 ค่าจากการทดลองวงจรขยายสัญญาณที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์

จากตารางที่ 5.5 จะสามารถนำค่าต่างๆ มาคำนวณหากำลังของสัญญาณอินพุต (dBm) กำลังของสัญญาณเอาต์พุต (dBm) อัตราขยายและประสิทธิภาพของวงจรได้ด้วยสมการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งจะได้ค่าต่างๆ ดังนี้

OSC (dBm)	P_{in} (dBm)	P_{out} (dBm)	Gain (dB)	Efficiency (%)
-20	12.70	33.01	20.32	4.91
-19	13.22	33.01	19.79	4.39
-18	14.62	37.78	23.16	11.41
-17	15.34	39.54	24.20	15.19
-16	16.88	41.14	24.26	19.41
-15	18.04	42.55	24.51	23.65
-14	18.81	43.42	24.62	25.52
-13	20.21	44.91	24.70	31.09
-12	21.70	45.80	24.10	33.70
-11	22.53	46.72	24.19	36.81
-10	23.07	47.48	24.41	38.75
-9	24.03	48.45	24.42	42.74
-8	25.00	49.34	24.35	44.63
-7	25.97	50.57	24.60	52.36
-6	26.95	51.27	24.32	54.32
-5	28.13	52.25	24.12	60.11
-4	29.06	53.12	24.05	64.46
-3	30.00	54.03	24.03	68.72

ตารางที่ 5.6 ค่าที่ได้จากการคำนวณของวงจรมายสัญญาณที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์

และจากตารางที่ 5.5 และตารางที่ 5.6 จะสามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ได้ดังนี้



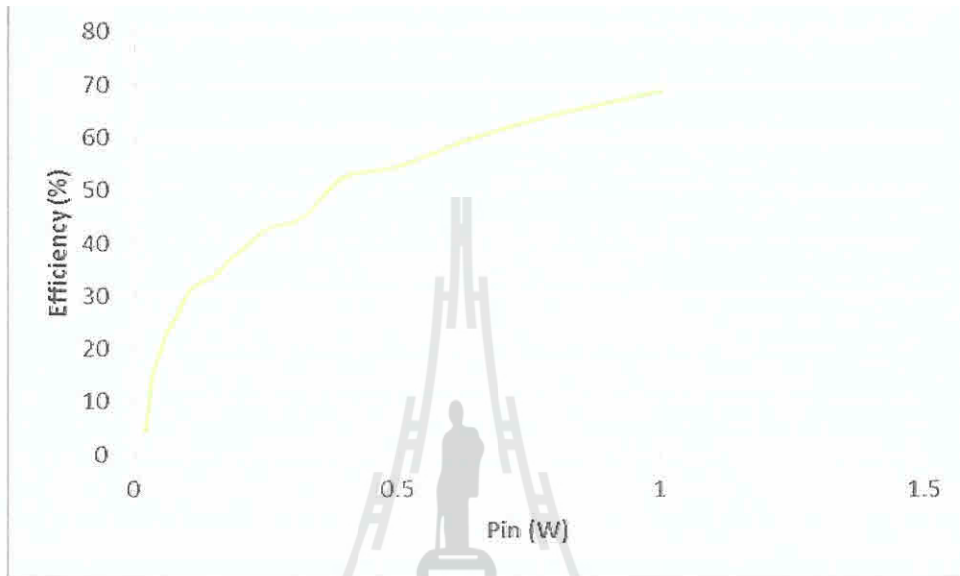
รูปที่ 5.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณเอาต์พุต (P_{out}) กับกำลังของสัญญาณอินพุต (P_{in}) ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 5.27 จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตให้กับวงจรมากขึ้น ค่ากำลังของสัญญาณเอาต์พุตก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยที่เมื่อค่ากำลังของสัญญาณอินพุตมีค่าประมาณ 12-15 dBm จะทำให้ค่ากำลังของเอาต์พุตมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว



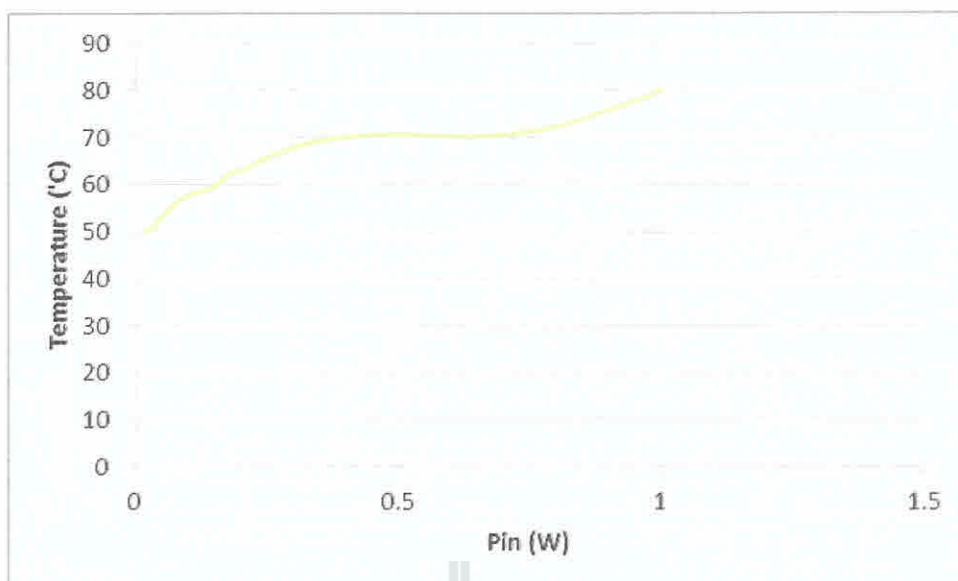
รูปที่ 5.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย (Gain) กับกำลังของสัญญาณอินพุต (P_{in}) ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์

จากรูปที่ 5.28 จะเห็นได้ว่าที่กำลังของสัญญาณอินพุตประมาณ 0.02-0.03 วัตต์ อัตราขยายจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วมาก และเมื่อค่าสัญญาณอินพุตสูงขึ้นไปกว่านั้น จะทำให้มีอัตราขยายค่อนข้างคงที่ โดยที่อัตราขยายที่คงที่ที่สุดจะอยู่ในช่วงที่สัญญาณอินพุตประมาณ 0.5-1 วัตต์



รูปที่ 5.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงาน (Efficiency) กับกำลังของสัญญาณอินพุต (P_{in}) ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์

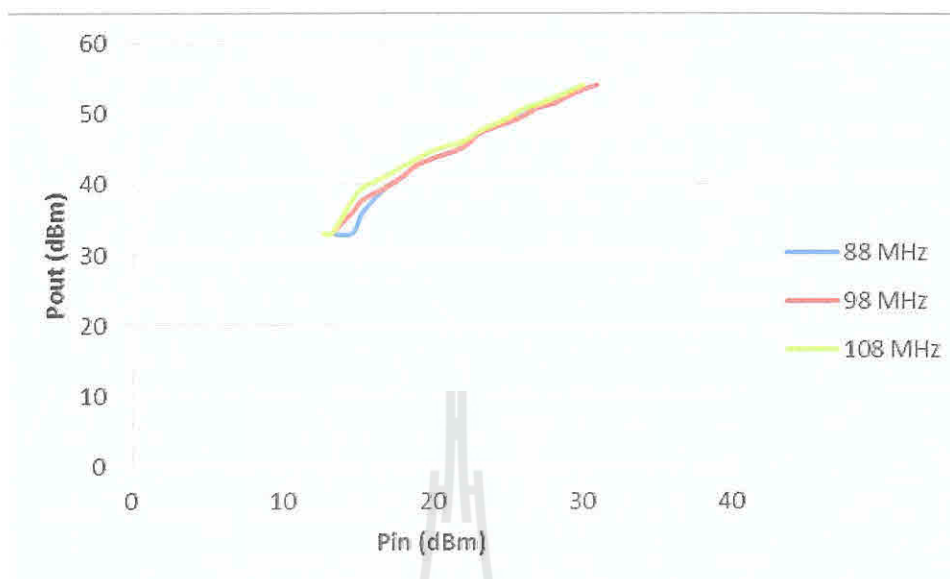
จากรูปที่ 5.29 จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตให้กับวงจรมากขึ้น ค่าประสิทธิภาพการทำงานของวงจรก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่จะไม่ค่อยคงที่ไม่ว่าจะป้อนสัญญาณอินพุตเข้าไปเท่าไรก็ตาม และจะเห็นได้ว่าในช่วงที่กำลังของสัญญาณอินพุตต่ำๆ นั้น ค่าประสิทธิภาพการทำงานของวงจรจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว



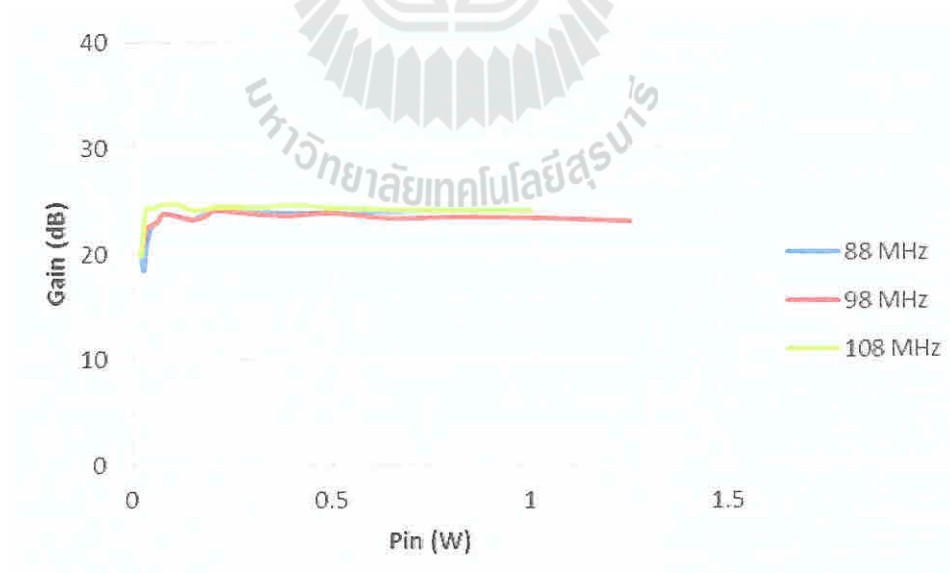
รูปที่ 5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ(Temperature) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in}) ที่ความถี่ 108 เมกะเฮิรต์ซ์

จากรูปที่ 5.30 จะเห็นได้ว่าเมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตให้กับวงจรมากขึ้น อุณหภูมิของวงจรก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยที่ค่าสัญญาณอินพุตประมาณ 0.02-0.4 วัตต์ และที่ 0.8-1 วัตต์จะมีแนวโน้มของอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะค่อนข้างคงที่ในช่วงสัญญาณอินพุต เท่ากับ 0.4-0.7 วัตต์

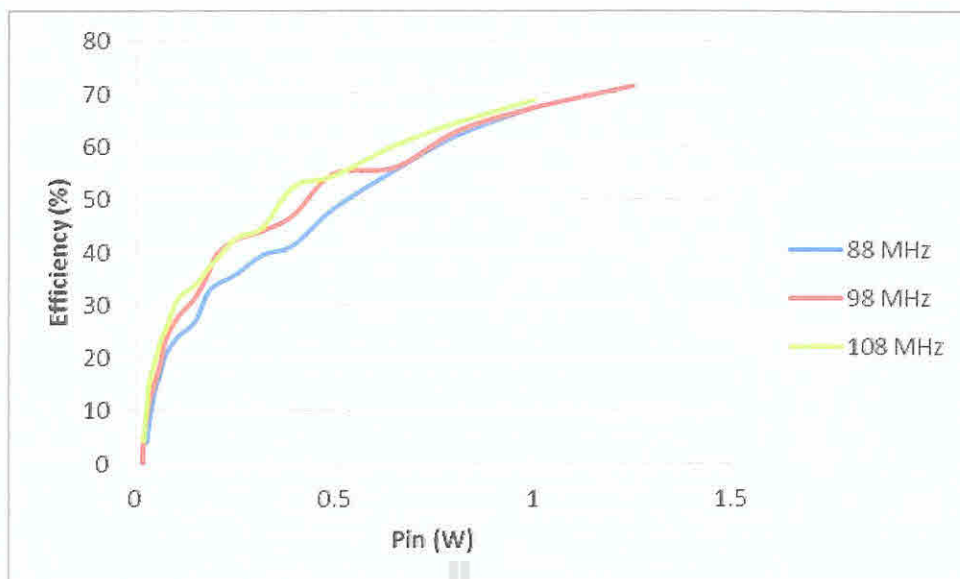
และเมื่อนำกราฟของแต่ละความถี่มาเปรียบเทียบกันจะได้ว่า



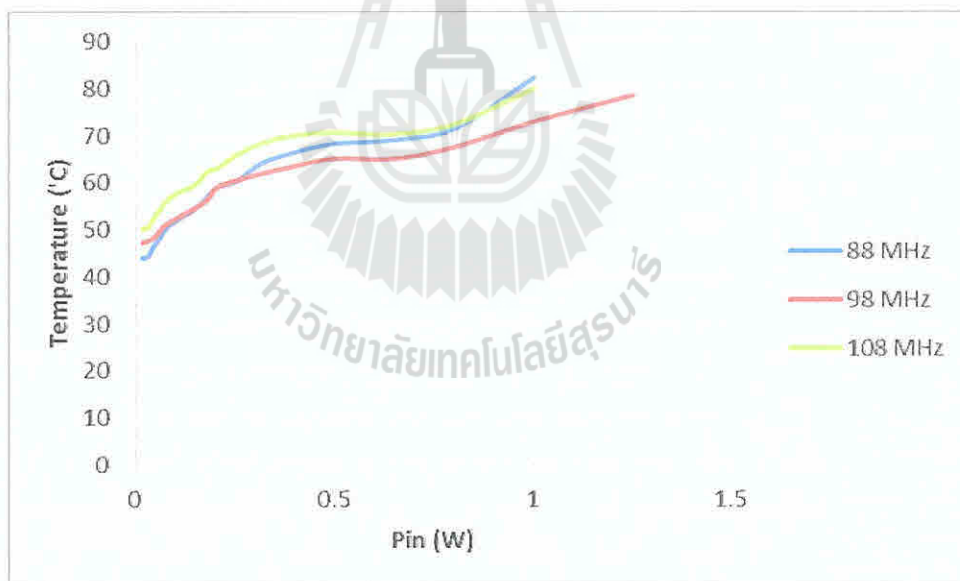
รูปที่ 5.31 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณเอาต์พุต (P_{out}) กับกำลังของสัญญาณอินพุต (P_{in}) ของทั้งสามความถี่



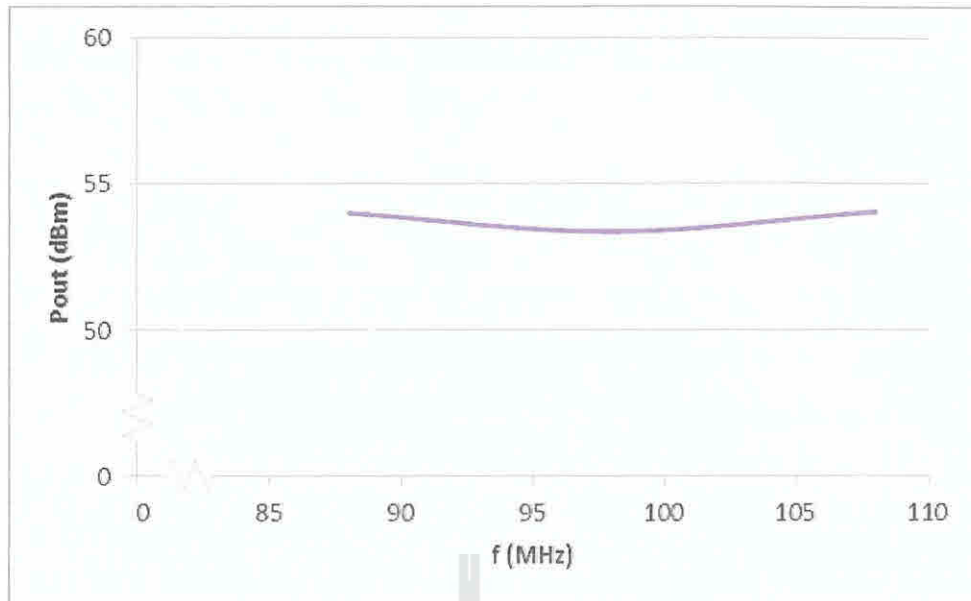
รูปที่ 5.32 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย (Gain) กับกำลังของสัญญาณอินพุต (P_{in}) ของทั้งสามความถี่



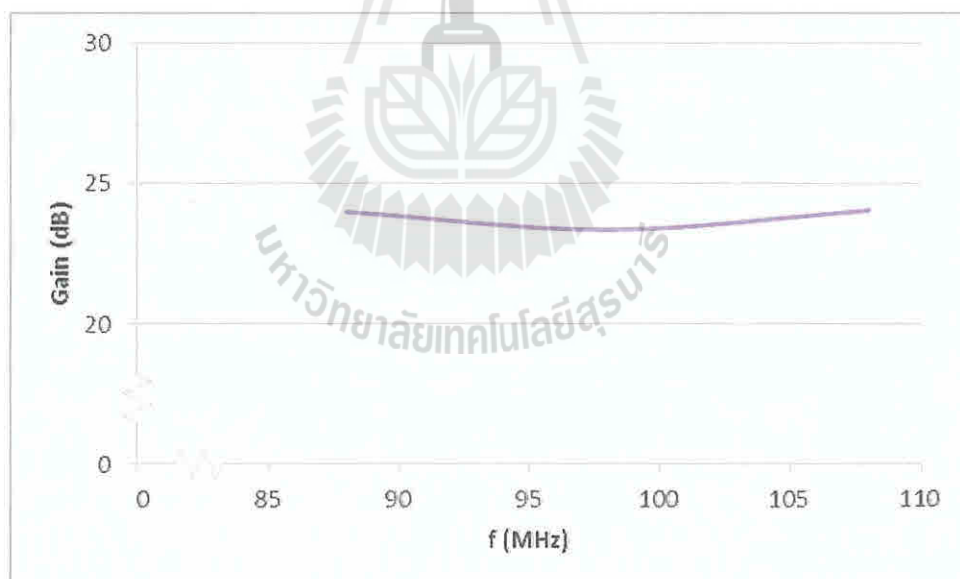
รูปที่ 5.33 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงาน(Efficiency) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in})ของทั้งสามความถี่



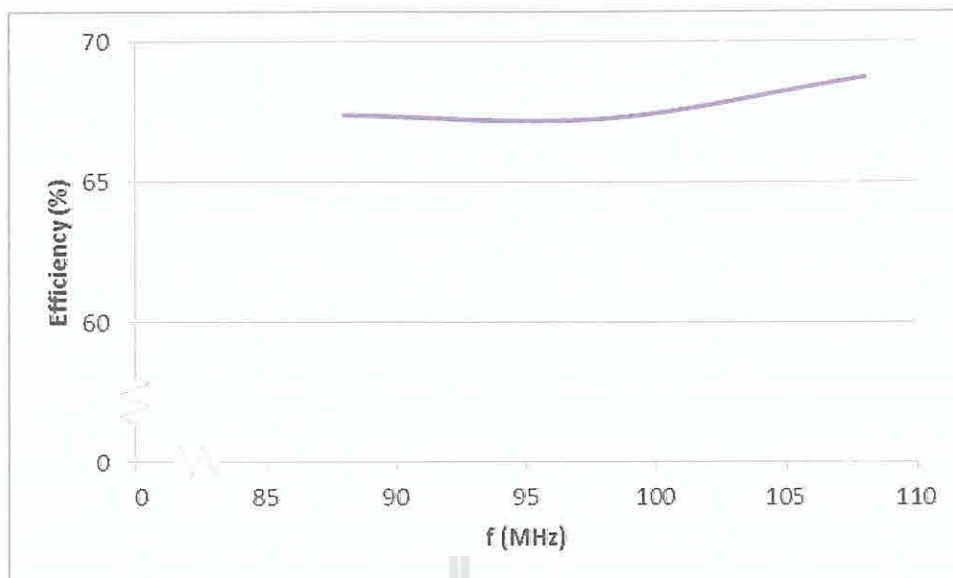
รูปที่ 5.34 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ(Temperature) กับกำลังของสัญญาณอินพุต(P_{in})ของทั้งสามความถี่



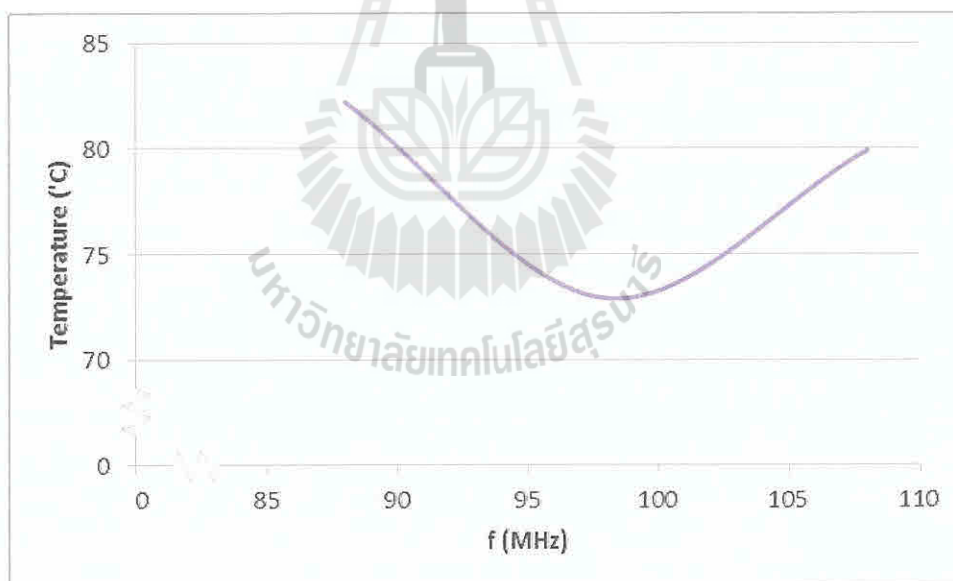
รูปที่ 5.35 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของสัญญาณเอาต์พุต (P_{out}) ในย่านความถี่ 88-108 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตเท่ากับ 1 วัตต์



รูปที่ 5.36 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยาย (Gain) ในย่านความถี่ 88-108 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อป้อนกำลังของสัญญาณอินพุตเท่ากับ 1 วัตต์



รูปที่ 5.37 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการทำงาน(Efficiency) ในย่านความถี่ 88-108 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อป้อนกำลังของสัญญาณิตพุตเท่ากับ 1 วัตต์



รูปที่ 5.38 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ(Temperature) ในย่านความถี่ 88-108 เมกะเฮิร์ตซ์ เมื่อป้อนกำลังของสัญญาณิตพุตเท่ากับ 1 วัตต์

5.2 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการทดลองวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุในย่านความถี่เอฟเอ็ม ตามที่ได้ออกแบบมา และจะเลือกที่ความถี่ต่ำสุดที่ 88 เมกะเฮิร์ตซ์ ความถี่กลางที่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ และความถี่สูงสุดที่ 108 เมกะเฮิร์ตซ์ ของวงจรมาทำการทดลอง โดยจากทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 88 และ 108 เมกะเฮิร์ตซ์นั้น จะได้ผลการทดลองใกล้เคียงกัน แต่ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ ถึงแม้จะมีผลการทดลองที่ใกล้เคียงกับความถี่ 88 และ 108 เมกะเฮิร์ตซ์ก็จริง แต่จะสังเกตได้ว่าต้องใช้กำลังของสัญญาณอินพุตมากกว่าความถี่ทั้งสองข้างต้นเล็กน้อย เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าโดยภาพรวมแล้วที่ความถี่ 88 และ 108 เมกะเฮิร์ตซ์จะได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจกว่า ที่ความถี่ 98 เมกะเฮิร์ตซ์ เล็กน้อย ไม่ว่าจะเป็กำลังของสัญญาณเอาท์พุต อัตราขยาย และประสิทธิภาพการทำงานของวงจร เมื่อเทียบกับกำลังของสัญญาณอินพุตที่จ่ายให้วงจรแล้ว



บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผล

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอ การออกแบบวงจรขยายกำลังส่งสัญญาณ คลื่นวิทยุในย่านความถี่เอ็ฟเอ็ม โดยออกแบบเป็นวงจรขยายสัญญาณคลื่นวิทยุคลาสเอบีแบบพุช-พูล ซึ่งได้เลือกใช้ออสเฟตทรานซิสเตอร์ BLF578 เป็นตัวขยายสัญญาณ ทรานซิสเตอร์ตัวนี้สามารถทำงานได้ที่ย่านความถี่ 10-500 เมกะเฮิร์ตซ์ ที่แหล่งจ่ายไฟ 50 โวลต์ ซึ่งที่ค่าความถี่ในย่านเอ็ฟเอ็มนี้ จะมีค่าอัตราขยายประมาณ 26 dB และมีประสิทธิภาพการทำงานประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังสามารถทนความร้อนได้ถึง 150 องศาเซลเซียส และในโครงการนี้ได้ทำการคำนวณหาค่าต่างๆ ที่จำเป็นในการออกแบบวงจร ไม่ว่าจะเป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบวงจรบาลัน วงจรแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์ ความยาวของสายส่ง และวงจรไบอัส ตามทฤษฎีแล้วสามารถออกแบบให้จ่ายกำลังงานทางด้านอินพุตประมาณ 2.5 วัตต์ และได้กำลังงานทางด้านเอาต์พุตประมาณ 1000 วัตต์ แต่การออกแบบในโครงการนี้จะออกแบบโดยอิงในการใช้งานจริง ซึ่งจะได้ประสิทธิภาพการขยายสัญญาณของวงจรจะอยู่ที่ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการยืดระยะเวลาการใช้งานของวงจรด้วย ซึ่งประสิทธิภาพที่ 60-70 เปอร์เซ็นต์นี้ จะสามารถให้กำลังขยายได้ถึงประมาณ 800 วัตต์ โดยการป้อนกำลังอินพุตเพียง 2-4 วัตต์ และกำหนดไบอัสแรงดันที่ขั้วกราวน์เท่ากับ 48 โวลต์ กำหนดแรงดันที่ขาเกตประมาณ 1.2-1.5 โวลต์ และเลือกใช้แผ่นวงจร RF35 ที่มีความหนาประมาณ 0.76 มิลลิเมตร มีความหนาของแผ่นทองแดงประมาณ 0.035 มิลลิเมตร และมีความยาวประมาณ 15 เซนติเมตร ความกว้างประมาณ 5.5 เซนติเมตร ในการประกอบวงจร

จากการทดลองวงจรจะเห็นได้ว่าเมื่อจ่ายกำลังของสัญญาณอินพุตสูงสุดที่ 1-1.25 วัตต์ จะได้กำลังของสัญญาณเอาต์พุตประมาณ 250 วัตต์ ของทั้งสามความถี่ที่เลือกใช้ในการทดลองวงจร และจากการคำนวณ จะได้อัตราขยายประมาณ 23.7 dB และมีประสิทธิภาพการทำงานประมาณ 68 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ไม่มีสัญญาณย้อนกลับ และมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่เหมาะสมในการใช้งานจริง แต่จะมีข้อเสียก็คือปัญหาในด้านความร้อน ซึ่งที่กำลังของเอาต์พุตเท่ากับ 250 วัตต์ จะมีความร้อนเฉลี่ยสูงถึง 80 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจจะทำให้วงจรมีประสิทธิภาพการทำงานและอาจเสียหายได้ ทำให้ไม่สามารถใช้งานในระยะยาว แต่ในภาพรวมแล้วนอกจากเรื่องของอุณหภูมิ วงจรขยายกำลังส่งสัญญาณคลื่นวิทยุนี้ก็ถือว่าสามารถตอบสนองได้ดีพอสมควร

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าปัญหาใหญ่ๆ ในการออกแบบวงจรนี้คือความร้อนของตัวทรานซิสเตอร์ ซึ่งเมื่อมีความร้อนสูงก็อาจจะทำให้วงจรเสียหายได้ และจากการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตราขยายและประสิทธิภาพการทำงานเป็นคั้งที่ได้ออกแบบไว้ แต่จะเห็นว่าได้กำลังของสัญญาณเอาต์พุตเพียง 250 วัตต์เท่านั้น ซึ่งจากที่ออกแบบไว้คือจ่ายกำลังของสัญญาณอินพุตประมาณ 2-4 วัตต์ แล้วได้กำลังของสัญญาณเอาต์พุตประมาณ 800 วัตต์ แต่ในการทดลองไม่สามารถเพิ่มกำลังของสัญญาณอินพุตตามที่ออกแบบได้ ทั้งนี้เนื่องมาจากถ้าเราเพิ่มกำลังของสัญญาณอินพุตมากขึ้นเรื่อยๆ ก็จะส่งผลให้ทรานซิสเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้น และอาจจะทำให้วงจรเกิดการเสียหายได้ และการที่วงจรมีอุณหภูมิสูงนั้นอาจเนื่องมาจากระบบระบายความร้อนไม่สามารถระบายความร้อนได้ดีเท่าที่ควร หรืออาจจะเป็นเพราะวัสดุในการระบายความร้อนมีคุณภาพต่ำ และอีกปัจจัยหนึ่งก็คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ อาจจะมีค่าคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากที่ออกแบบไว้ เนื่องจากไม่สามารถหาค่าอุปกรณ์ต่างๆ ได้ตรงตามที่ออกแบบ

6.3 แนวทางการพัฒนา

ในการพัฒนาวงจรขยายกำลังส่งคลื่นวิทยุในย่านความถี่เอฟเอ็มนี้ สามารถทำได้โดยการติดตั้งระบบระบายความร้อนที่มีคุณภาพสูงกว่านี้ โดยอาจจะเลือกใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Cooling Water) หรืออาจจะเลือกใช้แผ่นระบายความร้อนเพลทีเยร์ (Peltier Cooler) มาช่วยให้มีประสิทธิภาพในการระบายความร้อนเพิ่มขึ้น และอีกปัจจัยหนึ่งก็คือต้องหาอุปกรณ์ให้ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อช่วยให้วงจรมีความคลาดเคลื่อนของสัญญาณน้อยลง และมีเสถียรภาพที่ดียิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] ชาญชัย ทองโสภณ. (2549). การออกแบบวงจรคลื่นความถี่วิทยุ. เอกสารประกอบการสอน
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [2] ปิยาภรณ์ กระฉอดนอก. (2551). **Communication networks and Transmission lines.**
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [3] สำราญ สันทาลุณย์. (2552). การออกแบบวงจรความถี่วิทยุสำหรับเครื่องเหินขนำความร้อน
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [4] Chris Bowick. (1982). **RF Circuit Design.** Indianapolis:
H.W. Sams
- [5] Iulian Rosu, YO3DAC / VA3IUL. **Bias Circuits for RF Devices.**
[ออนไลน์]:http://www.qsl.net/va3iul/Bias/Bias_Circuits_for_RF_Devicess.pdf
- [6] Iulian Rosu, YO3DAC / VA3IUL. **RF Power Amplifiers.**
[ออนไลน์]:http://www.qsl.net/va3iul/RF%20Power%20Amplifiers/RF_Power_Amplifiers.pdf
- [7] Jim Lersurf. **Class AB and Rubber Diodes.**
[ออนไลน์]:http://www.st-andrews.ac.uk/~jcg1/Scots_Guide/audio/part2/page3.html
- [8] NXP Semiconductors. (2009) **Using the BLF578 in the 88 MHz to 108 MHz FM band.**
[ออนไลน์]: http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10800.pdf
- [9] NXP Semiconductors. (2010). **Power LDMOS transistor.**
[ออนไลน์]:http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BLF578.pdf
- [10] Walter C. Johnson. (1963). **Transmission lines and Networks.** New York:
Mc Graw Hill

ภาคผนวก



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 _{DS} (V)	P _L (W)	G _p (dB)	η_D (%)
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_{bq} of 40 mA, a t_p of 100 μ s 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

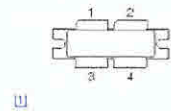


2. Pinning information

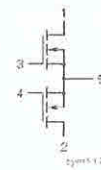
Table 2. Pinning

Pin	Description
1	drain1
2	drain2
3	gate1
4	gate2
5	source

Simplified outline



Graphic symbol



[1] Connected to flange.

3. Ordering information

Table 3. Ordering information

Type number	Package	Version
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

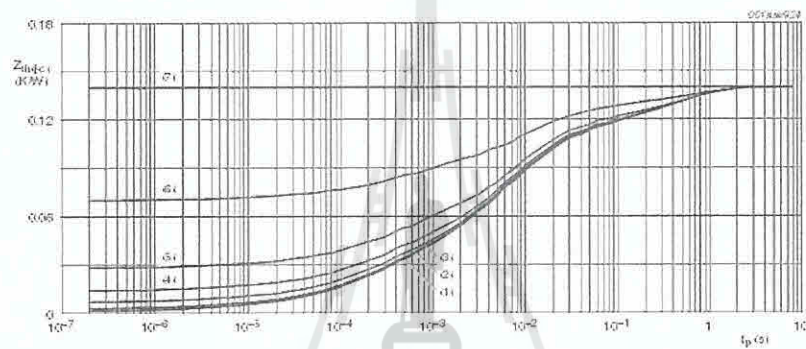
Table 5. Thermal characteristics

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](#).



- (1) $\delta = 1\%$
- (2) $\delta = 2\%$
- (3) $\delta = 5\%$
- (4) $\delta = 10\%$
- (5) $\delta = 20\%$
- (6) $\delta = 50\%$
- (7) $\delta = 100\%$ (DC)

Fig 1. Transient thermal impedance from junction to case as function of pulse duration

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
$V_{GS(q)}$	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	μA

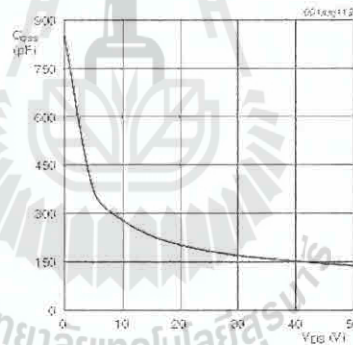
Table 6. DC characteristics *continued*
 $T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$; per section unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
I_{DcX}	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	-	Ω
C_{fb}	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; $t_p = 100\text{ }\mu\text{s}$; $d = 20\%$; $f = 225\text{ MHz}$; 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
η_D	drain efficiency	$P_L = 1200\text{ W}$	68	71	-	%



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

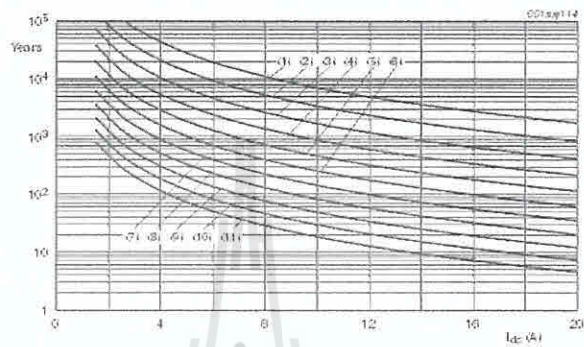
Fig 2. Output capacitance as a function of drain-source voltage; typical values per section

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



TTF (0.1 % failure fraction).

The reliability at pulsed conditions can be calculated as follows: $TTF (0.1\%) = 1/\lambda$

- (1) T_j = 100 °C
- (2) T_j = 110 °C
- (3) T_j = 120 °C
- (4) T_j = 130 °C
- (5) T_j = 140 °C
- (6) T_j = 150 °C
- (7) T_j = 160 °C
- (8) T_j = 170 °C
- (9) T_j = 180 °C
- (10) T_j = 190 °C
- (11) T_j = 200 °C

Fig 3. BLF578 electromigration (t_b, total device)

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	Ω	Ω
225	$3.2 + j2.6$	$3.7 - j0.2$

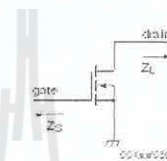
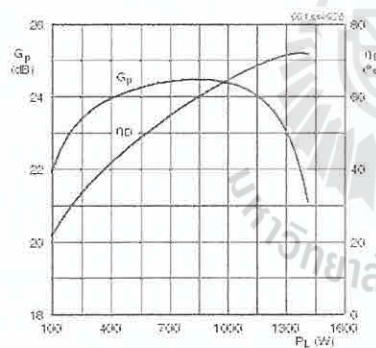


Fig 4. Definition of transistor impedance

8.2 RF performance

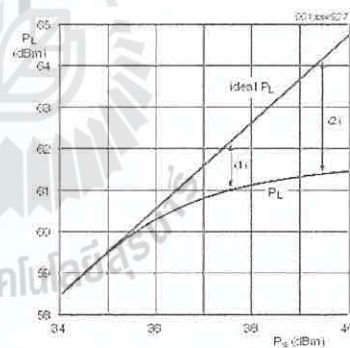
The following figures are measured in a class-AB production test circuit.

8.2.1 1-Tone CW pulsed



$V_{DS} = 50\text{ V}$; $I_{DQ} = 40\text{ mA}$; $f = 225\text{ MHz}$; $t_p = 100\ \mu\text{s}$;
 $\Delta = 20\%$.

Fig 5. Power gain and drain efficiency as function of load power; typical values

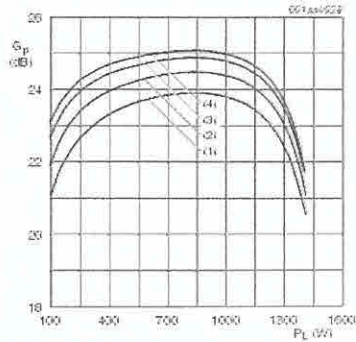


$V_{DS} = 50\text{ V}$; $I_{DQ} = 40\text{ mA}$; $f = 225\text{ MHz}$; $t_p = 100\ \mu\text{s}$;
 $\Delta = 20\%$.

(1) $P_{L,1dB} = 61.0\text{ dBm}$ (1200 W)

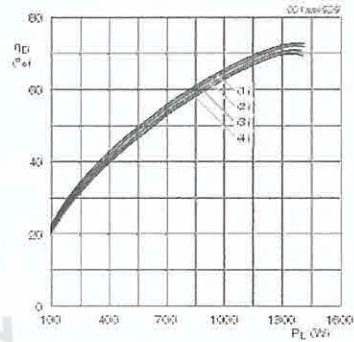
(2) $P_{L,3dB} = 61.4\text{ dBm}$ (1400 W)

Fig 6. Load Power as function of source power; typical values



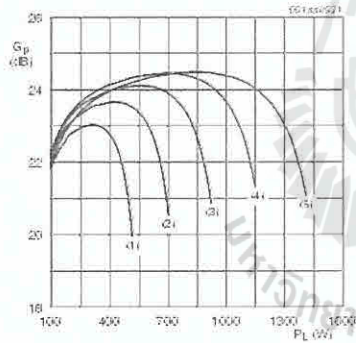
$V_{DS} = 50\text{ V}$, $f = 225\text{ MHz}$, $t_p = 100\ \mu\text{s}$, $\Delta = 20\%$.
 (1) $I_{DQ} = 0\text{ mA}$
 (2) $I_{DQ} = 40\text{ mA}$
 (3) $I_{DQ} = 80\text{ mA}$
 (4) $I_{DQ} = 160\text{ mA}$

Fig 7. Power gain as a function of load power; typical values



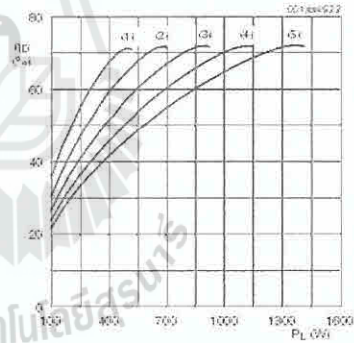
$V_{DS} = 50\text{ V}$, $f = 225\text{ MHz}$, $t_p = 100\ \mu\text{s}$, $\Delta = 20\%$.
 (1) $I_{DQ} = 0\text{ mA}$
 (2) $I_{DQ} = 40\text{ mA}$
 (3) $I_{DQ} = 80\text{ mA}$
 (4) $I_{DQ} = 160\text{ mA}$

Fig 8. Drain efficiency as a function of load power; typical values



$I_{CQ} = 40\text{ mA}$, $f = 225\text{ MHz}$, $t_p = 100\ \mu\text{s}$, $\Delta = 20\%$.
 (1) $V_{DS} = 30\text{ V}$
 (2) $V_{DS} = 35\text{ V}$
 (3) $V_{DS} = 40\text{ V}$
 (4) $V_{DS} = 45\text{ V}$
 (5) $V_{DS} = 50\text{ V}$

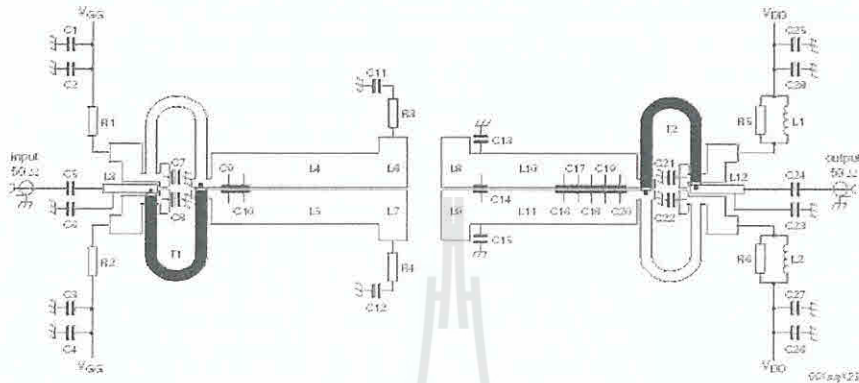
Fig 9. Power gain as a function of load power; typical values



$I_{CQ} = 40\text{ mA}$, $f = 225\text{ MHz}$, $t_p = 100\ \mu\text{s}$, $\Delta = 20\%$.
 (1) $V_{DS} = 30\text{ V}$
 (2) $V_{DS} = 35\text{ V}$
 (3) $V_{DS} = 40\text{ V}$
 (4) $V_{DS} = 45\text{ V}$
 (5) $V_{DS} = 50\text{ V}$

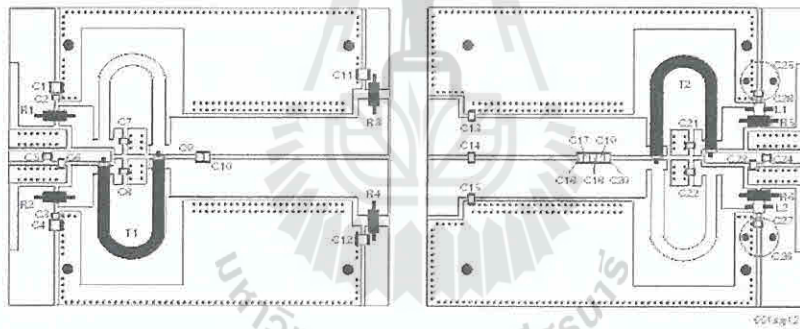
Fig 10. Drain efficiency as a function of load power; typical values

8.3 Test circuit



See Table 9 for a list of components.

Fig 11. Class-AB common-source production test circuit



See Table 9 for a list of components.

Fig 12. Component layout for class-AB production 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 metalization); thickness copper plating = 35 μm .

Component	Description	Value	Remarks
C1, C2, C11, C12	multilayer ceramic chip capacitor	4.7 μF	TDK4532X7R1E475M020J
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 μF , 63 V	
L1, L2	3 turns 1 mm copper wire	D = 2 mm, length = 3 mm	
L3, L12	stripline	-	(L x W) 15 mm x 2.4 mm
L4, L5, L10, L11	stripline	-	(L x W) 47 mm x 10 mm
L6, L7, L8, L9	stripline	-	(L x W) 8 mm x 15 mm
R1, R2	metal film resistor	2 Ω , 0.6 W	
R3, R4	metal film resistor	20 Ω , 0.6 W	
R5, R6	metal film resistor	1 Ω , 0.6 W	
T1, T2	semi rigid coax.	50 Ω , 58 mm	EZ-141-AL-TP-M17

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

9. Package outline

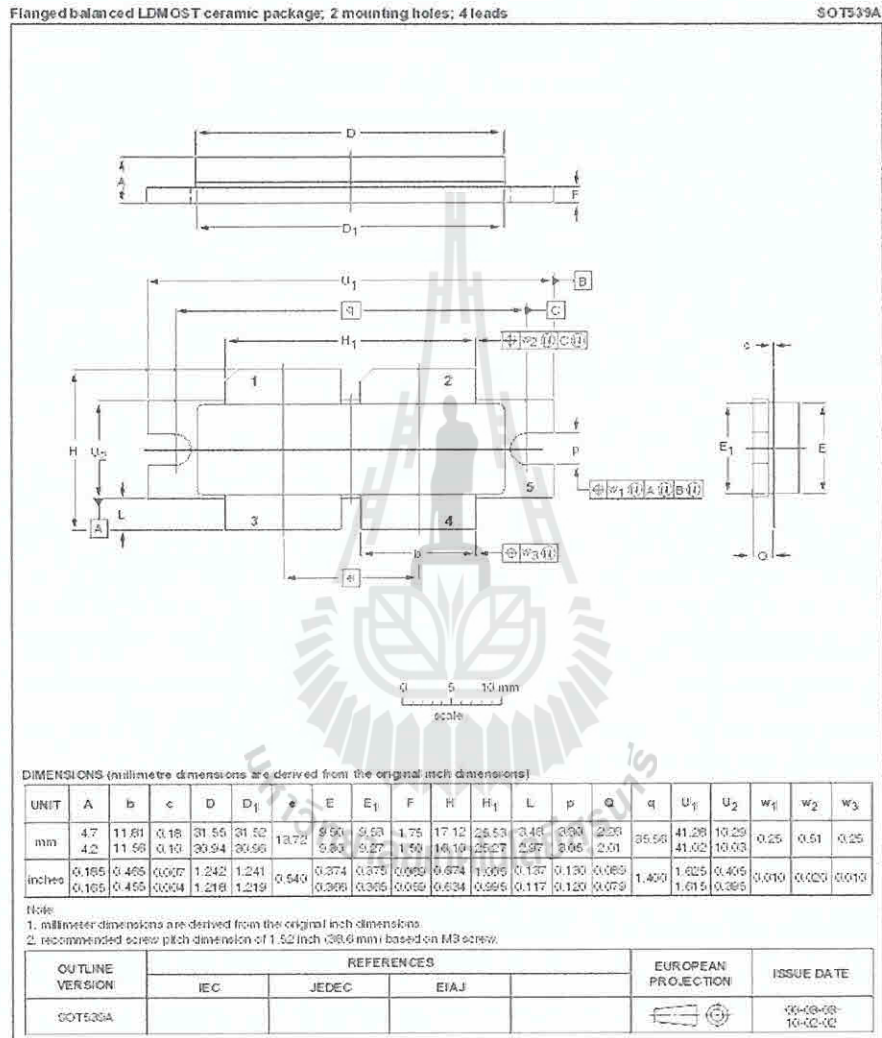


Fig 13 Package outline SOT539A

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"> • Table 1 on page 1 added information for CW performance. • Section 1 on page 1 changed typical value of η_D. • Table 4 on page 2 changed maximum value of I_D. • Table 5 on page 3 changed value of $R_{th(j-c)}$. • Table 5 on page 3 added information about $Z_{in(j-c)}$. • Figure 1 on page 3 added figure. • Table 6 on page 3 added values for V_{GSQ}. • Table 6 on page 3 changed typical value of I_{DSQ}. • Table 7 on page 4 changed some values. • Section 5.2.1 on page 6 changed some graphs. 		
BLF578_1	20081211	Objective data sheet	-	

12. Legal information

12.1 Data sheet status

Document status [1]	Product status [2]	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 a device 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 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 of present or the Characteristics section 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/professional/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 application of any license under any copyrights, patents or other industrial or intellectual property rights.

Export control — This document as well as the items 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 shall use the product without NXP Semiconductors' warranty of the

NXP Semiconductors

BLF578

Power LDMOS transistor

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.

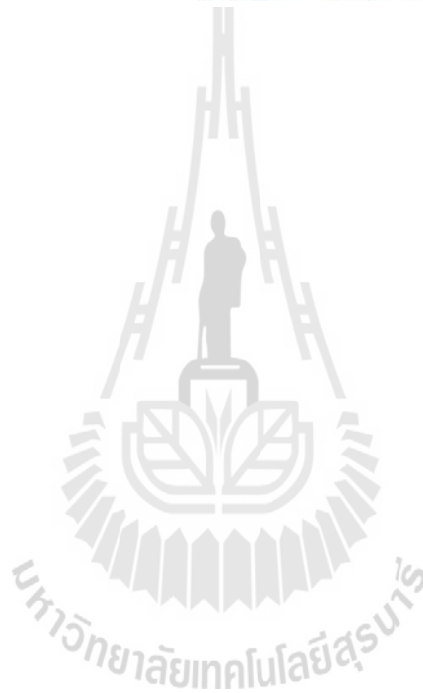
12.4 Trademarks

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



14. Contents

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



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

founded by

PHILIPS

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 sales22@nxp.com

Date of release: 4 February 2010

Document identifier: BLF578_2

ประวัติผู้เขียน



นายพิชิตพล จอมพลาพล เกิดเมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2532 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลโนเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2550 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นายอติชาติ เรียวเรืองแสงกุล เกิดเมื่อวันที่ 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลโนเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนกัลยาณวัตร อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2550 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



นายอภิวัฒน์ บั้มบิก เกิดเมื่อวันที่ 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2531 ภูมิลำเนาอยู่ที่ ตำบลรอบเมือง อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนร้อยเอ็ดวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด เมื่อปี พ.ศ. 2550 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี