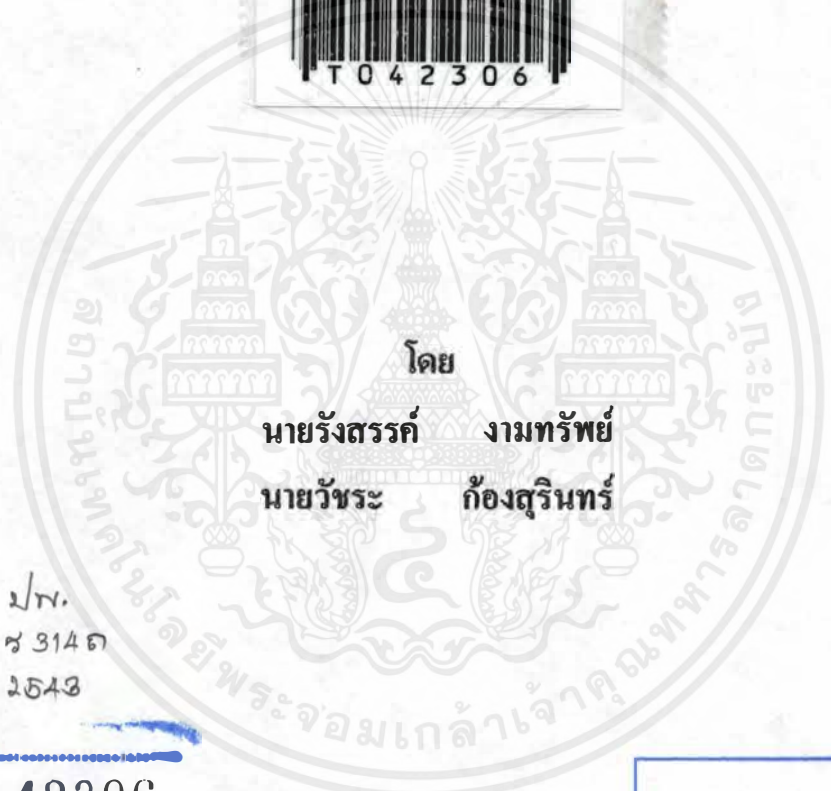


แถวลำดับสายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อด้วยช่องเปิดแบบแอกทีฟ

AN ACTIVE APERTURE COUPLED PATCH
ANTENNA ARRAY



โดย
นายรังสรรค์ งามทรัพย์
นายวัชระ ก้องสุรินทร์

ปท.
ช 314 ถ
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...42306
วัน, เดือน, ปี 6 พ.ค. 2545

b.....
i.....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

611202002

หัวข้อปริญญานิพนธ์ แลวดำคืบสายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อด้วยช่องเปิดแบบแอกทีฟ
AN ACTIVE APERTURE COUPLED PATCH ANTENNA ARRAY

โดย นายรังสรรค์ งามทรัพย์ 41013381

นายวัชร ก้องสุรินทร์ 41013384

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ มนต์ชัย แซ่ม้อย

อาจารย์ พิชญ สุพรรณกุล

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

สาขาวิชา เทคโนโลยีโทรคมนาคม

ปีการศึกษา 2543

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

ประธานกรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

กรรมการ

()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แถวลำดับสายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อกับช่องเปิดแบบแอคทีฟ		
	AN ACTIVE APERTURE COUPLED PATCH ANTENNA ARRAY		
ชื่อนักศึกษา	นายรังสรรค์	งามทรัพย์	41013381
	นายวัชร	ก่องสุรินทร์	41013384
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ มนต์ชัย		แจ่มช้อย
	อาจารย์ พิชญ	สุพรรณกุล	
ปริญญา	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	เทคโนโลยีโทรคมนาคม		
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม		
ปีการศึกษา	2543		

บทคัดย่อ

ในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบและสร้าง แถวลำดับสายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อกับช่องเปิด ซึ่งทำงานร่วมกับวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ ช่องเปิดจะถูกใช้ในการเชื่อมต่อสัญญาณจากสายอากาศมาสู่วงจรรวมสัญญาณที่ใช้ตัวแปลงอิมพีแดนซ์หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นในการแมตช์อิมพีแดนซ์ ความถี่ที่ถูกออกแบบให้ใช้งานคือ 5.8 GHz ซึ่งเป็นความถี่สูงในย่าน ISM (Industrial Science Medicine) band การสร้างใช้วัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก 2 ชั้น โดยชั้นบนจะเป็นส่วนของแถวลำดับสายอากาศ ส่วนวงจรรวมสัญญาณที่ถูกต่อกับวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ จะถูกสร้างอยู่ที่ด้านล่างของวัสดุฐานรองอีกแผ่นหนึ่ง โดยระหว่างวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก ทั้ง 2 ชั้นจะเป็นระนาบกราวด์ ซึ่งมีช่องเปิด โครงสร้างแบบนี้ นอกจากจะช่วยลดการปลอมปนสัญญาณแล้วยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรอีกด้วย จากการสังเกตผลการทดสอบ สายอากาศและวงจรขยาย จะพบว่าสามารถนำไปใช้ได้ดีสำหรับการรับและขยายสัญญาณตามลำดับ นอกจากนี้ สายอากาศยังมีแบนด์วิดท์ที่กว้างและบีบวิดท์ที่แคบ ดังนั้นโครงการนี้จึงสามารถนำไปใช้ในระบบสื่อสารไร้สายได้เช่น ระบบแลนไร้สาย (Wireless LANs) หรือ การวัดทดสอบช่องสัญญาณ (Channel Sounder) เป็นต้น

Title	AN ACTIVE APERTURE COUPLED PATCH ANTENNA ARRAY		
Student	Mr. Rungson	Ngamsub	41013381
	Mr. Watchara	Kongsurin	41013384
Advisor	Mr. Monchai	Chamchoy	
	Mr. Pichaya	Supanakoon	
Degree	Bachelor Degree of Industrial Technology		
Programme	Telecommunication Technology		
Department	Industrial Technology		
Academic year	2000		

ABSTRACT

In this project, design and fabrication of an aperture coupled patch antenna arrays, which operate with a low noise amplifier (LNA) are proposed. Apertures are used to couple signal from the antenna to a combines used as quarter wave transformers to match impedance of it. An operation frequency designed for the antenna is 5.8 GHz, which is the highest frequency in Industrial Science Medicine (ISM) band. The aperture coupled patch antenna array is fabricated on the top substrate and the combine connected with the low noise amplifier is fabricated on the bottom of substrate. The layer between both dielectric substrates is ground plane, which has aperture embedded on the ground plane. This structure not only decreases spurious signal but also improve the efficiency of circuits. From observation of the measured results, it is found that the antenna and the amplifier are good for receiving and amplifier signal, respectively. Moreover, the antenna has wide bandwidth and narrow beamwidth, accordingly, it can be used in wireless system for example wireless LANs or Channel Sounder.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่คอยให้กำลังใจ และคอยให้ความช่วยเหลือ ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ทุกท่าน โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์มนตรีชัย แซ่มะซ้อย และอาจารย์พิชฌุ สุพรรณกุล และพี่ๆ ปริญญาโททุกท่านที่คอยให้คำแนะนำและช่วยเหลือด้านข้อมูลต่างๆ ทั้งในทฤษฎีและปฏิบัติเป็นอย่างยิ่ง และที่ขาดเสียไม่ได้คือต้องขอขอบพระคุณภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้โอกาสคณะผู้จัดทำมีโอกาสเข้ามาศึกษา ณ. ที่แห่งนี้

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่กลุ่มผู้จัดทำจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

นายรังสรรค์ งามทรัพย์
นายวัชระ ก้องสุรินทร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
สัญลักษณ์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.2.1 ความมุ่งหมาย	1
1.2.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	2
1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีสายอากาศ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 องค์ประกอบของสายอากาศและการใช้งานขั้นพื้นฐาน	3
2.2.1 โครงสร้างสายอากาศแบบป้อนสัญญาณผ่านช่องเปิด	3
2.3 ทฤษฎีในการออกแบบ	5
2.3.1 สายอากาศแบบแผ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	5
2.3.2 การออกแบบสายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อสัญญาณด้วยช่องเปิด	9
2.4 สายอากาศแบบแถวลำดับ	13
2.4.1 สายอากาศแถวลำดับแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า	13
2.4.2 การวางตำแหน่งสายอากาศแถวลำดับเพื่อลดระดับพูข้าง (Sidelobe)	14
2.4.3 การป้อนสัญญาณ	17
2.5 เทคนิคการแมตช์ด้วยตัวแปลงอิมพีแดนซ์แบบหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น (Quarter wave Transformer Matching Techniques)	19
2.6 สรุป	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีการออกแบบวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ	22
3.1 กล่าวนำ	22
3.2 เสถียรภาพของวงจรขยาย (Amplifier Stability)	24
3.2.1 ชนิดของเสถียรภาพของวงจรขยาย	24
3.2.2 วงกลมเสถียรภาพ	24
3.2.3 เสถียรวิกฤต	26
3.3 อัตราการขยายกำลัง (Power Gain)	28
3.4 พารามิเตอร์ของสัญญาณรบกวน (NOISE PARAMETER)	34
3.5 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำโดยใช้สมิทชาร์ต	35
3.6 สรุป	36
บทที่ 4 การวิเคราะห์และการออกแบบ	37
4.1 กล่าวนำ	37
4.2 การเลือกแบบวงจรแอมป์สายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อกับช่องเปิด ที่ความถี่ 5.8 GHz	37
4.2.1 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นสี่เหลี่ยม	38
4.2.2 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่เชื่อมต่อกับช่องเปิด	39
4.2.3 การออกแบบแอมป์สายอากาศ	40
4.3 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (LNA) ที่ความถี่ 5.8 GHz โดยใช้สมิทชาร์ต	43
4.4 การออกแบบวงจรรวมสัญญาณ	50
4.5 ขั้นตอนการสร้าง	54
4.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง	54
4.5.2 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงาน	54
4.6 สรุป	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	58
5.1 กล่าวนำ	58
5.2 การวัดผลการตอบสนองต่อความถี่ของสายอากาศ	58
5.2.1 การวัดสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเดี่ยว	59
5.2.2 การวัดสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบแถวลำดับขนาด 4 × 4 องค์ประกอบ	61
5.3 การวัดผลการทำงานของวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ	64
5.4 การวัดผลการทำงานเมื่อรวมวงจรขยายและสายอากาศเข้าด้วยกัน	67
5.4.1 การวัดความแรงของสัญญาณ	68
5.4.2 การวัดแบบรูปการแพร่กระจาย	69
5.5 สรุป	72
บทที่ 6 บทสรุป	73
บรรณานุกรม	75
ภาคผนวก ก.	76
ภาคผนวก ข.	81
ภาคผนวก ค.	85

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างสายอากาศเชื่อมต่อสัญญาณด้วยช่องเปิด	4
รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของการส่งผ่านช่องเปิด	4
รูปที่ 2.3 สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป, สนามไฟฟ้าและลักษณะของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล	6
รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลต่อความถี่	7
รูปที่ 2.5 ความยาวประสิทธิผลของสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า	8
รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศที่ใช้การเชื่อมต่อสัญญาณผ่านช่องเปิด	10
รูปที่ 2.7 สายอากาศแถวลำดับแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า	13
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ $m \times n$ องค์ประกอบแบบ AUPA	14
รูปที่ 2.9 การนอร์มอลไลซ์ (Normalize) แบบรูปของ 2×2 , 4×4 และ 10×10 องค์ประกอบ	16
รูปที่ 2.10 โมโนแกรม (Monogram) ของ m , n และบีมวิดิทซ์ของ $m \times n$ องค์ประกอบ	16
รูปที่ 2.11 อัตราส่วนของระดับพูหลัก (mainlobe) ต่อพูข้าง (sidelobe) สำหรับ $m \times n$ องค์ประกอบ	17
รูปที่ 2.12 ลักษณะการป้อนสัญญาณให้สายอากาศแถวลำดับ	18
รูปที่ 2.13 เทเปอร์ (Tapered) และสายแปลงอิมพีแดนซ์ $\lambda/4$ เพื่อแมตช์แอมเพดซ์ 100Ω กับสาย 50Ω	18
รูปที่ 2.14 การใช้ตัวแปลงอิมพีแดนซ์แบบหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นแมตช์ระหว่างสายส่งที่มีอิมพีแดนซ์ต่างกัน ($Z_{IN} \neq Z_L$)	20
รูปที่ 2.15 การใช้ตัวแปลงอิมพีแดนซ์แบบหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นแมตช์ระหว่างสายส่งกับสายอากาศ	20
รูปที่ 2.16 กราฟแสดงค่า SWR ที่อินพุทของตัวแปลงอิมพีแดนซ์แบบหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น	21

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.1 วงจรที่มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของวงจรขยายแบบหนึ่งสถานะ (SINGLE-STATE)	23
รูปที่ 3.2 วงจรขยายย่านแคบ (Narrow Band) แบบสองสถานะ (TWO-STATE)	23
รูปที่ 3.3 วงจรทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์วงจรในรูปที่ 3.1	23
รูปที่ 3.4 เสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข	27
รูปที่ 3.5 เสถียรภาพแบบไม่มีเงื่อนไข	28
รูปที่ 4.1 สายอากาศแผ่นเดี่ยว (Single patch) ที่ขนาดกว้าง (W) เท่ากับ 16.87 มม. ความยาว (L) เท่ากับ 12.857 มม.	39
รูปที่ 4.2 ขนาดของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่เชื่อมต่อกับช่องเปิด	39
รูปที่ 4.3 ตำแหน่งและระยะการวางสายอากาศแผ่นแบบแถวลำดับขนาด 4×4 องค์ประกอบ	41
รูปที่ 4.4 กราฟแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E เฉพาะอาร์เรย์แฟคเตอร์	42
รูปที่ 4.5 กราฟแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ H เฉพาะอาร์เรย์แฟคเตอร์	42
รูปที่ 4.6 การพล็อตวงกลมเสถียรภาพ, อัตราขยายและสัญญาณรบกวน	44
รูปที่ 4.7 การแมตซ์อิมพีแดนซ์ของวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ	47
รูปที่ 4.8 การแมตซ์วงจรขยายด้วยสายไมโครสตริปและสายท่อสั้น	48
รูปที่ 4.9 วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำที่ใช้งาน	49
รูปที่ 4.10 วงจรจ่ายไฟตรงให้กับวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ	50
รูปที่ 4.11 การรวมสัญญาณแบบเข้า 2 ออก 1	51
รูปที่ 4.12 วงจรที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเลียนแบบ (Simulate)	52
รูปที่ 4.13 ผลจากการทดสอบในวงจรรูปที่ 4.12	52
รูปที่ 4.14 วงจรการรวมสัญญาณขนาด 16 องค์ประกอบ	53
รูปที่ 4.15 ลักษณะของชิ้นงานด้านหน้า	55
รูปที่ 4.16 ลักษณะของชิ้นงานด้านหลัง	56
รูปที่ 4.17 วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำและชุดจ่ายไฟ	56
รูปที่ 5.1 สายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเดี่ยว	59
รูปที่ 5.2 ค่าขนาดของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการวัด	60
รูปที่ 5.3 ค่า SWR ของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการวัด	60

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 5.4 ค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการวัด	61
รูปที่ 5.5 ค่าขนาดของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการวัด	62
รูปที่ 5.6 ค่าขนาดของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการลอกเลียนวงจร (Simulation)	62
รูปที่ 5.7 ค่า SWR ของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการวัด	63
รูปที่ 5.8 ค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการวัด	63
รูปที่ 5.9 ค่า S พารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Network Analyzer	65
รูปที่ 5.10 ค่า S พารามิเตอร์ที่ได้จากการเลียนแบบ (Simulation) วงจร	66
รูปที่ 5.11 การต่อสายอากาศตัวส่งกับเครื่อง Series Synthesized Sweeper	67
รูปที่ 5.12 ระดับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศแบบพาสซีฟ	68
รูปที่ 5.13 ระดับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศแบบแอคทีฟ (ขณะมีการไบอัสให้กับเฟด)	68
รูปที่ 5.14 ระดับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศแบบแอคทีฟ (ขณะไม่มีการไบอัสให้กับเฟด)	69
รูปที่ 5.15 การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ	70
รูปที่ 5.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า	71
รูปที่ 5.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก	72

สัญลักษณ์

c_i	=	Center of Output Stability circle
c_s	=	Center of Input Stability circle
C	=	Capacitor
C_a	=	Center of Available Power Gain Circle
C_F	=	Center of Noise Circle
C_P	=	Center of Operating Power Gain Circle
d_B	=	Spacing each element in Y axis
d_E	=	Spacing each element in X axis
f_r	=	Resonant Frequency
FET	=	Field Effect Transistor
F_{min}	=	Minimum noise figure
G_{ms}	=	Maximum stable power gain
G_A	=	Available power gain
G_p	=	Power Gain ; Operating Power Gain
G_T	=	Transducer Power Gain
h	=	Substrate thickness
K	=	Stability factor
L	=	Microstrip antenna length
LNA	=	Low Noise Amplifier
m	=	Number of Element on the X axis
MESFET	=	Metal Semiconductor Field-Effect Transistor
M_1	=	Input Matching Network
M_2	=	Output Matching Network
n	=	Number of Element on the Y axis
N_i	=	Noise Figure Parameter
NF	=	Noise Figure
r_i	=	Radius of Output Stability circle
r_n	=	Equivalent Normalized Noise Resistance
r_s	=	Radius of Input Stability circle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R	=	Resistor
R_a	=	Radius of Available Power Gain Circle
R_F	=	Radius of Noise Circle
R_L	=	Resistance of Load
R_P	=	Radius of Operating Power Gain Circle
R_S	=	Resistance of Source
S_{11}	=	Input reflection coefficient
S_{21}	=	Forward transmission coefficient
S_{12}	=	Reverse transmission coefficient
S_{22}	=	Output reflection coefficient
SWR	=	Standing Wave Ratio
t	=	metal thickness
v_o	=	Velocity of light
W	=	Microstrip antenna width
Z_{in}	=	Characteristic impedance of input
Z_L	=	Characteristic impedance of load
Z_o	=	Characteristic impedance of transmission line
ϵ_r	=	Substrate dielectric constant; Relative permittivity
ϵ_{eff}	=	Effective dielectric constant; Effective permittivity of microstrip
μ_0	=	Permeability
ϵ_o	=	Permittivity
λ	=	Wavelength in Free space
λ_g	=	Wavelength in Wave guide
Γ_S	=	Source reflection coefficient
Γ_L	=	Load reflection coefficient
Γ_{in}	=	Input reflection coefficient
Γ_{out}	=	Output reflection coefficient
Γ_{opt}	=	Optimal Gamma for Noise
Φ_{mn}	=	Phase shift
ϕ	=	Elevation angle
θ	=	Azimuth angle
β	=	Phase Coefficient

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันการสื่อสารในย่านความถี่ไมโครเวฟได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เพื่อรองรับกับความต้องการของผู้ใช้ที่มีจำนวนมากขึ้น การสื่อสารแบบไร้สายเป็นอีกหนึ่งรูปแบบของการติดต่อสื่อสารที่ใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟซึ่งเป็นที่กำลังนิยมอย่างมาก เพราะจะทำให้ผู้ใช้ได้รับความสะดวกสบาย ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านนี้ไปอย่างรวดเร็ว และการวัดทดสอบช่องสัญญาณที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลก็ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการปรับปรุงและพัฒนาาระบบการสื่อสารให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

จากแนวคิดดังกล่าวจึงได้มีการออกแบบสายอากาศแบบแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแถวลำดับขนาด 4×4 องค์ประกอบและวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ ให้อยู่ในชุดเดียวกัน เพื่อนำไปใช้เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณในการตรวจสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณ (Channel) ในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ในช่วงความถี่ 5.8 GHz ของระบบแลนแบบไร้สาย (Wireless LANs)

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ความมุ่งหมาย

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบ สายอากาศไมโครสตริปและวงจรขยายสัญญาณเข้าไว้ในชุดเดียวกัน เพื่อให้มีน้ำหนักเบาและประหยัดต้นทุนในการผลิตโดย ส่วนของภาคขยายสัญญาณจะใช้วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier : LNA) แบบหนึ่งสเตจ เพื่อให้มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุดที่วงจรขยายสัญญาณ และในส่วนสายอากาศจะใช้เป็นสายอากาศไมโครสตริปแถวลำดับแบบแผ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 4×4 องค์ประกอบ เพื่อให้สายอากาศมีแบนด์วิดท์ที่กว้าง และมีวิดท์ที่แคบ การเชื่อมต่อสัญญาณ (Coupled) ระหว่างวงจรทั้งสอง จะใช้ช่องเปิด (Aperture) ในการเชื่อมต่อสัญญาณ การเชื่อมต่อสัญญาณแบบนี้จะทำให้ช่วยลดสัญญาณปลอมปนได้ดีและจะทำให้ได้โพลาไรเซชันที่บริสุทธิ์อีกด้วย ซึ่งจะช่วยลดสัญญาณรบกวนให้น้อยลงเพื่อให้วงจรขยายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

- 1.) เพื่อศึกษาหลักการวิเคราะห์และการออกแบบรวมถึงการสร้างสายอากาศและภาคขยายสัญญาณในย่านความถี่ ไมโครเวฟ
- 2.) เพื่อศึกษาทฤษฎีและสามารถนำสมิธิชาร์ตมาใช้งานในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณได้
- 3.) เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งของชุดตรวจสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณ (Channel Sounder)
- 4.) เพื่อเป็นแนวทางในการติดต่อสื่อสารในย่านความถี่ไมโครเวฟต่อไปในอนาคต

1.3 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.) ได้แถวลำดับสายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อด้วยช่องเปิดแบบแอกทีฟที่ประกอบด้วยแถวลำดับสายอากาศแผ่นที่เชื่อมสัญญาณด้วยช่องเปิดและวงจรถ่ายสัญญาณรบกวนต่ำอยู่ในชุดเดียวกัน
- 2.) ได้รับความรู้จากเครื่องมือวัด เช่น Network Analyzer , Spectrum Analyzer และ Series Synthesized Sweeper
- 3.) ได้อุปกรณ์ที่เป็นส่วนหนึ่งของชุดตรวจสอบคุณลักษณะของช่องสัญญาณ (Channel Sounder)
- 4.) เป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนางานวิจัยการใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟ

บทที่ 2

ทฤษฎีสายอากาศ

2.1 กล่าวนำ

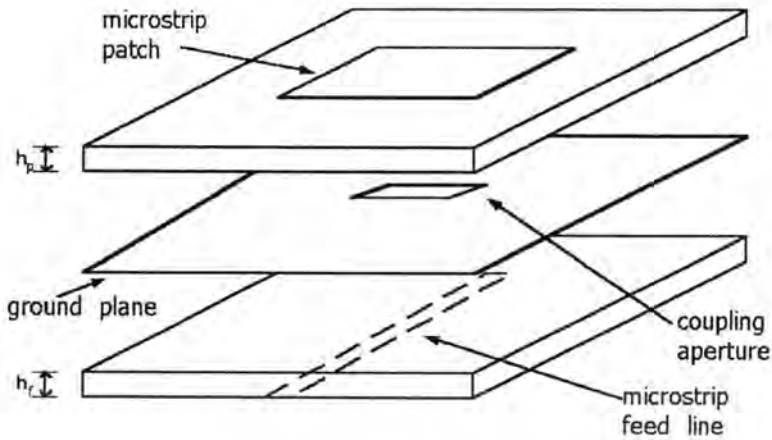
สายอากาศที่ใช้ในอศิศจนปัจจุบันมีด้วยกันหลายชนิด ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเรื่อย ๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพทั้งภาครับและภาคส่งได้ดีที่สุด แต่สายอากาศต่าง ๆ เหล่านี้ก็ต้องถูกจำแนกแบ่งออกได้หลายประเภท เพื่อนำไปใช้งานในลักษณะงานที่ต่าง ๆ กัน ซึ่งสายอากาศแต่ละชนิดก็จะให้ประสิทธิภาพที่ต่างกันออกไปด้วย เราจึงควรจะต้องเลือกใช้งานตามวัตถุประสงค์และคุณสมบัติของสายอากาศ ให้ถูกต้องเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้งาน

ในโครงการนี้เราต้องการใช้งานที่ย่านความถี่ไมโครเวฟและต้องการให้งานมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา จึงเลือกใช้สายอากาศไมโครสตริปชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular Patch Microstrip Antenna) แบบแถวลำดับ มาเป็นตัวรับสัญญาณ ที่ความถี่ 5.8 GHz เหตุที่ใช้สายอากาศแบบแถวลำดับเพราะสายอากาศแบบแผ่นเดี่ยว (Single Patch) จะให้ปมวิคท์ที่ค่อนข้างกว้าง เพราะฉะนั้นจึงใช้สายอากาศแบบแถวลำดับ เพราะจะให้ปมวิคท์ที่แคบกว่าและยังจะได้แบนด์วิคท์ที่กว้างกว่าอีกด้วย

2.2 องค์ประกอบของสายอากาศและการใช้งานขั้นพื้นฐาน

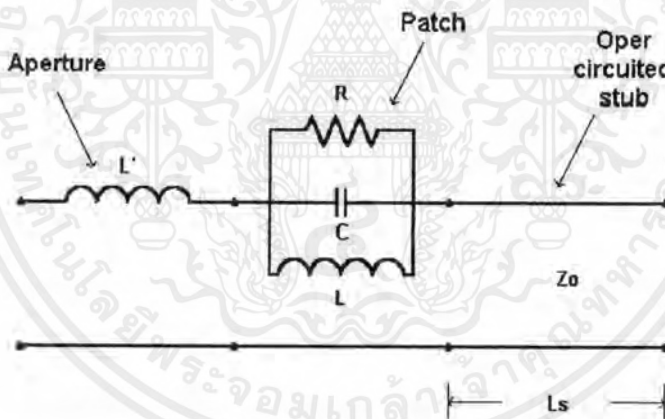
2.2.1 โครงสร้างสายอากาศแบบป้อนสัญญาณผ่านช่องเปิด

ตามโครงสร้างของสายอากาศชนิดนี้จะมี 3 ชั้น โดยชั้นที่หนึ่งจะเป็นสายอากาศไมโครสตริป ชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ชั้นที่สองจะเป็นกราวด์ (Ground Plane) โดยจะมีช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเล็ก ๆ เป็นช่องว่างอยู่ตรงกลางเพื่อให้สัญญาณคัปปลิงผ่านในช่องนี้ ส่วนชั้นที่สามจะเป็นส่วนป้อนสัญญาณ ทำหน้าที่รับสัญญาณที่ผ่านมาจากช่องเปิด แล้วนำสัญญาณที่ได้ออกไปใช้งาน ในที่นี้จะเป็นการทำงานที่ภาครับสัญญาณ (Receiver) ในทางกลับกันภาคส่งสัญญาณ (Transmitter) ก็จะทำสัญญาณที่จะส่งป้อนใส่ในส่วนป้อนสัญญาณ สัญญาณก็จะแพร่ (radiate) ผ่านช่องเปิด และผ่านไปยังสายอากาศไมโครสตริป เพื่อส่งสัญญาณออกไปตามโครงสร้างในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสายอากาศเชื่อมต่อสัญญาณด้วยช่องเปิด

ความสัมพันธ์ระหว่างแผ่นสายอากาศ ช่องเปิดและตัวป้อนสัญญาณ จะมีลักษณะการต่อแบบอนุกรม ตามลักษณะการต่อแบบสมมูลย์ (Equivalent circuit) ในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลย์ของการส่งผ่านช่องเปิด

จากรูปที่ 2.2 L' คือการรวมค่าความเหนี่ยวนำของช่องเปิด (aperture) ที่ต่ำกว่าจุดเรโซแนนซ์ สายอากาศแผ่น (patch) คือวงจร RLC ขนานกัน สายท่อนสั้น (stub) คือสายส่งแบบปลายเปิดซึ่งจะมีอิมพีแดนซ์เท่ากับสายป้อนสัญญาณ (Z_0) สายท่อนสั้นจะหาค่าความเหนี่ยวนำของช่องเปิดและสายอากาศแผ่นเพื่อช่วยสร้างค่าจริงให้กับอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

2.3 ทฤษฎีในการออกแบบ

2.3.1 สายอากาศแบบแผ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

สายอากาศแบบแผ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นลักษณะที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากง่ายต่อการวิเคราะห์ด้วยวิธีสายส่งสัญญาณและแบบจำลองโพรง ซึ่งจะมีความแม่นยำมากสำหรับวัสดุฐานรองที่บาง ๆ ดังนั้นเราจึงมาเริ่มต้นด้วยวิธีสายส่งสัญญาณ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดก่อน

2.3.1.1 แบบจำลองสายส่งสัญญาณ

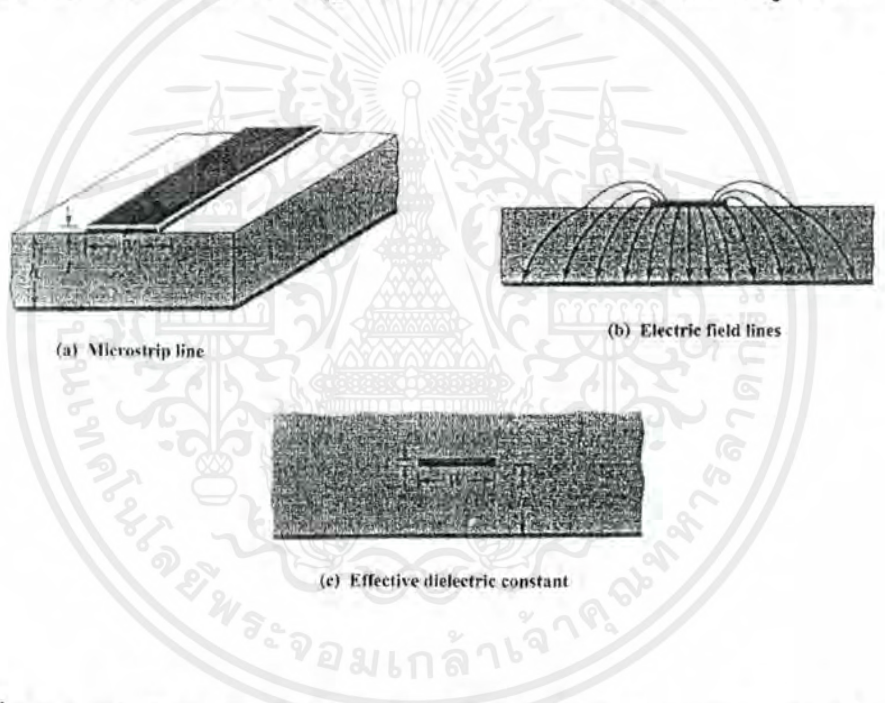
ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วตั้งแต่ต้นว่าแบบจำลองสายส่งสัญญาณนั้นเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด แต่ให้ผลที่ไม่ถูกต้องนักและมีความยืดหยุ่นน้อย แต่วิธีนี้จะทำให้เห็นภาพทางฟิสิกส์ได้ดี กรณีที่ใช้แบบจำลองโพรงสายอากาศไมโครสตริปรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะถูกแทนด้วยแถวลำดับของตัวแผ่กระจายคลื่น 2 ตัว ที่มีช่องเปิดแคบ ๆ (slot) แต่ละอันกว้าง W และสูง h วางห่างกันด้วยระยะ L โดยพื้นฐานแล้วแบบจำลองสายส่งสัญญาณจะแทนสายอากาศไมโครสตริปด้วยร่อง 2 ร่อง แยกจากกันโดยมีอิมพีแดนซ์ค่าต่ำ ๆ Z_c ของสายส่งสัญญาณคั่นอยู่ระหว่างร่องทั้ง 2 ด้วยระยะทาง L .

1.) ผลของฟริงกิง (fringing effect)

เนื่องจากขนาดของแผ่นนั้นจะถูกจำกัดไว้ด้วยขนาดความกว้างและความยาวที่แน่นอน ดังนั้นสนามที่บริเวณขอบของแผ่นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างร่องทั้ง 2 ปริมาณของสนาม ฟริงกิงจะเป็นฟังก์ชันของขนาดของแผ่นและความสูงของวัสดุฐานรอง สำหรับในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) สนามที่แผ่กระจายจะเป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนระหว่างความยาวของแผ่น (Patch) L ต่อความสูง h ของวัสดุฐานรอง (L/h) และค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ϵ_r ของวัสดุฐานรอง ดังนั้นสำหรับสายอากาศไมโครสตริปที่มี $L/h \gg 1$ สนามที่แผ่กระจายจะลดลง ซึ่งค่าพวกนี้จะมีผลต่อความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาด้วย

สำหรับสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปดังแสดงในรูปที่ 2.3 (a) ลักษณะของสนามไฟฟ้าจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 (b) ซึ่งเป็นลักษณะของเส้นที่แสดงสนามระหว่างไดอิเล็กตริก 2 ชั้นที่ไม่เอกพันธ์หรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันนั่นเอง ซึ่งปกติมักจะเป็นวัสดุฐานรองกับอากาศ สนามไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นภายในวัสดุฐานรองและบางส่วนจะเกิดขึ้นในอากาศ เมื่อค่า $L/h \gg 1$ และ $\epsilon_r \gg 1$ สนามไฟฟ้าจะรวมกันอยู่ภายในวัสดุฐานรองมากขึ้น การแผ่กระจายของสนามในลักษณะนี้จะทำให้ขนาดทางไฟฟ้าของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปกว้างกว่าขนาดจริง ๆ ของมัน ดังนั้นคลื่นจะเดินทางไปในวัสดุฐานรองและบางส่วนเดินทางไปในอากาศ ซึ่งเราจะต้องมาศึกษาเกี่ยวกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล (effective dielectric constant) ϵ_{eff} เพื่อพิจารณาเกี่ยวกับการแผ่กระจายของสนามและการเดินทางของคลื่นในสายส่งสัญญาณ

เพื่อทำความเข้าใจกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล เราจะสมมุติให้ตัวนำของสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปถูกวางอยู่เหนือระนาบสร้างเงาภายในวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (c) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลจะถูกนิยามให้เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรองที่สมำเสมอคงในรูปที่ 2.3 (a) ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าในอุดมคติซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นจริง ๆ นั้นแสดงได้ในรูป 2.3 (b) สำหรับสายส่งสัญญาณที่มีอากาศอยู่เหนือวัสดุฐานรอง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลจะมีค่าอยู่ในช่วง $1 < \epsilon_{eff} < \epsilon_r$ กรณีที่ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีค่ามากกว่าหนึ่งมาก ๆ ($\epsilon_r \gg 1$) ค่า ϵ_{eff} จะเข้าใกล้ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ϵ_r จริง ๆ ของวัสดุฐานรอง ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลนี้จะเป็นฟังก์ชันของความถี่ เมื่อความถี่ในการทำงานมีค่าสูงขึ้นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่จะรวมกันอยู่ภายในวัสดุฐานรอง ดังนั้นสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปจะมีพฤติกรรมคล้ายกับสายส่งสัญญาณที่อยู่ในวัสดุฐานรองเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงของความถี่ที่มีผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลบนวัสดุฐานรองที่แตกต่างกัน 3 แบบ แสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 สายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริป, สนามไฟฟ้าและลักษณะของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล

สำหรับความถี่ต่ำ ๆ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลจะมีลักษณะคงที่ แต่เมื่อความถี่อยู่ในช่วงกลาง ๆ ค่าจะเริ่มสูงขึ้น ค่าเริ่มต้น (ที่ความถี่ต่ำ) ของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลเราเรียกว่าค่าสถิต (Static) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

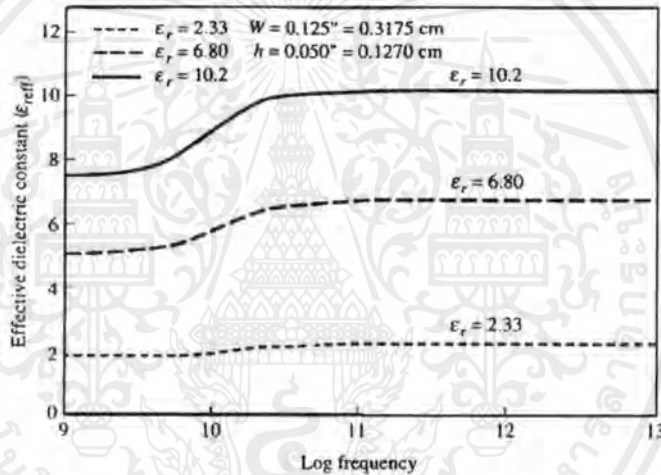
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W/h > 1;$$

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (2.1)$$

2.) ความกว้าง, ความยาวประสิทธิผลและความถี่เรโซแนนซ์

เนื่องจากผลของสนามฟริ่งจิงจะทำให้ขนาดทางไฟฟ้าของแผ่นจะมีขนาดใหญ่กว่าขนาดจริง ๆ สำหรับในระนาบสนามไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.4 โดยที่ขนาดของแผ่น (Patch) ด้านยาวนั้นจะยาวออกไปจากค่าเดิมทั้งสองด้าน โดยความยาวแต่ละด้านที่ยาวออกไปให้เป็น ΔL ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล ϵ_{reff} และอัตราส่วนความกว้างต่อความสูง (W/h) วิธีที่นิยมในการประมาณค่าความสัมพันธ์ของความยาวที่ขยายออกไปนี้คือ



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลต่อความถี่

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.2)$$

ดังนั้นความยาวแต่ละด้านของแผ่น (Patch) จะยาวออกมา ΔL และความยาวประสิทธิผลจะมีค่าเป็น

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโหมดหลัก (Dominant mode) TM_{010} ความถี่เรโซแนนซ์ของสายอากาศไมโครสตริปจะเป็นฟังก์ชันของความยาวของแผ่น โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ

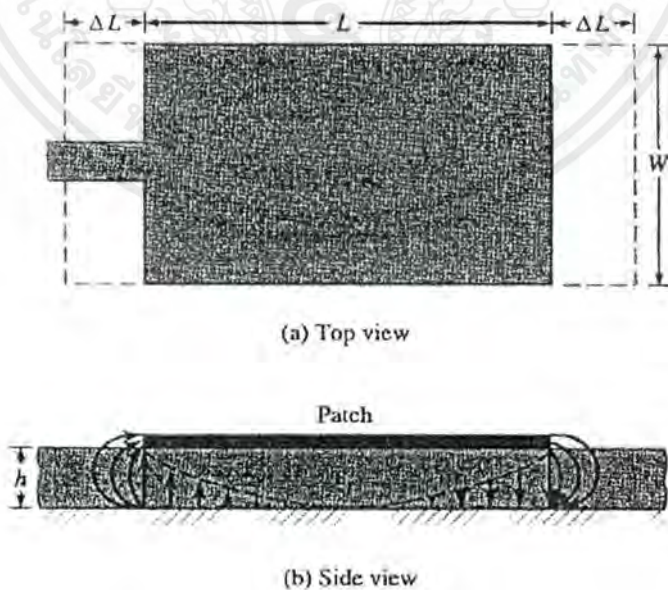
$$(f_r)_{010} = \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_o\epsilon}} = \frac{v_o}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.4)$$

โดยที่ v_o คือความเร็วแสงในสุญญากาศ สมการ (2.4) ไม่ได้คำนึงถึงผลของฟริงกิงด้วย ส่วนสมการ (2.5) เป็นสมการที่แก้ไขปรับปรุงแล้ว โดยรวมผลของฟริงกิง ซึ่งทำให้ได้สมการดังนี้

$$\begin{aligned} (f_r)_{010} &= \frac{1}{2L_{eff}\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_o\epsilon_o}} = \frac{1}{2(L+2\Delta L)\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_o\epsilon_o}} \\ &= q \frac{1}{2L\sqrt{\epsilon_r}\sqrt{\mu_o\epsilon_o}} = q \frac{v_o}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \end{aligned} \quad (2.5)$$

โดยที่ $q = \frac{(f_{rc})_{010}}{(f_r)_{010}} \quad (2.5a)$

ค่า q นี้เป็นค่าที่เรียกว่าฟริงกิงแฟกเตอร์ (fringing factor) เมื่อความสูงของวัสดุฐานรองเพิ่มขึ้นสนามฟริงกิงนี้จะมากขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2.5 ความยาวประสิทธิผลของสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) การออกแบบ

สมการพื้นฐานเราได้อธิบายไปข้างแล้ว สำหรับขั้นตอนในการออกแบบนั้นเราจะเน้นไปในการออกแบบสร้างสายอากาศไมโครสตริปรูบ์สี่เหลี่ยมผืนผ้า ขั้นตอนการออกแบบเราจะต้องระบุค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง (ϵ_r) ความถี่เรโซแนนซ์ (f) และความสูงของวัสดุฐานรอง (h) โดยมีขั้นตอนดังนี้

กำหนด :

$$\epsilon_r, f_r (\text{Hz}), \text{ และ } h$$

หา :

$$W, L$$

ขั้นตอนการออกแบบ

1. เพื่อให้การแผ่กระจายคลื่นมีประสิทธิภาพ ความกว้างของแผ่น (Patch) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_o \epsilon_o} \sqrt{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_o}{2f_r \sqrt{\epsilon_r + 1}} \quad (2.6)$$

โดยที่ v_o คือความเร็วของแสงในสุญญากาศ

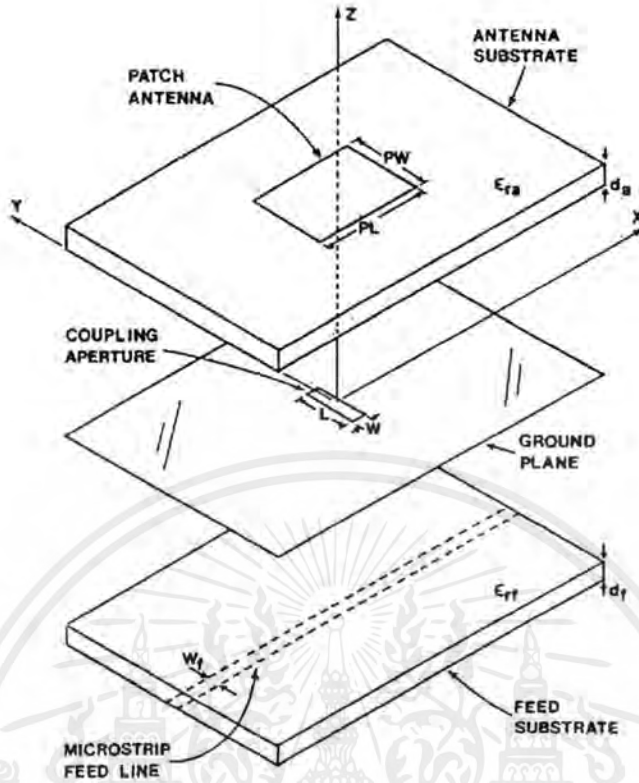
- หาค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล โดยอาศัยสมการที่ (2.1)
- เมื่อได้ค่า W จากสมการที่ (2.6) แล้วจะหาความยาว ได้โดยอาศัยสมการที่ (2.2)
- ความยาวที่แท้จริงของแผ่น (Patch) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.5) ซึ่งจะทำได้

$$L = \frac{v_o}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}} \sqrt{\mu_o \epsilon_o}} - 2\Delta L \quad (2.7)$$

2.3.2 การออกแบบสายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อสัญญาณด้วยช่องเปิด

โครงสร้างของสายอากาศที่ใช้การเชื่อมต่อสัญญาณผ่านช่องเปิดจะแสดงดังรูปที่ 2.6 จะมีลักษณะคล้ายกับสายอากาศแบบช่องเปิด (Slot antenna) แต่จะเพิ่มในส่วนของแผ่นวัสดุฐานรองที่มีสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นสี่เหลี่ยมไว้ด้านบนของช่องเปิดหรือแผ่นกราวด์ ช่องเปิดเล็ก ๆ นั้นจะมีขนาดที่เรโซแนนซ์และโคจรมาการแผ่กระจายคลื่นจะเกิดจากองค์ประกอบของสายอากาศที่เรโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเรขาคณิตของสายอากาศที่ใช้การเชื่อมต่อสัญญาณผ่านช่องเปิด

การใช้ช่องเปิดเชื่อมต่อสัญญาณไฟฟ้าขนาดเล็ก สัญญาณจะเดินทางในโหมด PWS ซึ่งถูกสมมุติให้มีสนาม (field) พอเพียงที่จะแสดงผล ในการวิเคราะห์จะอธิบายส่วนของแผ่นสายอากาศที่มองจากด้านของช่องเปิด กระแสที่เราไม่รู้บนแผ่นสายอากาศจะถูกขยายในกลุ่มของฟังก์ชันโดเมนทั้งหมดและจะเพิ่มเงื่อนไขของขอบเขตที่ $E_{tan} = 0$ บนแผ่นสายอากาศที่จำกัด ในส่วนค่าแอดมิตแตนซ์ภายใน (Y^o) ของช่องเปิดจะเปลี่ยนเป็น $Y^o + Y^a$ เมื่อ Y^a คือค่าแอดมิตแตนซ์ของช่องเปิดที่มองจากแผ่นสายอากาศ ซึ่งจะถูกสมมุติให้ค่า Q ของแผ่นสายอากาศมีค่าสูงพอ

กำหนดให้ E_x^i สนามตกกระทบที่แผ่นสายอากาศ โดยมีแหล่งจ่ายกระแสแม่เหล็กสมมุทธ์ $\vec{M}_s = \hat{y}e_x^a$ บนช่องเปิดและให้กระแสบนแผ่นสายอากาศ J_{sx} ที่ถูกขยายในส่วนของ N โหมดหลักทั้งหมดของการเปลี่ยนแปลง x และในโหมดรูปแบบ (pulse) ของการเปลี่ยนแปลง y

$$J_{sx} = \sum_{n=1}^N I_n f_s^n(x) f_u(y) \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดขอบเขตของเงื่อนไข E_x จะต้องหายไปบนผิวหน้าของสายอากาศเพื่อจะได้

$$E_x^i = - \int_{S_p} \sum_{n=1}^N \text{Inf}_s^n(x_0) f_u(y_0) ds \quad (2.9)$$

เมื่อ S_p คือผิวหน้าของสายอากาศ การที่ให้น้ำหนักกับสมการนี้ในบางฟังก์ชันจะให้โหมดขยายในรูปแบบของเมตริกซ์

$$[V] = [Z][I] \quad (2.10)$$

เมื่อ $|I|$ คือแถวแนวตั้งของค่าสัมประสิทธิ์ของกระแส I_n , $|Z|$ คือเมตริกซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศแผ่นกึ่งบ้องคู่ประกอบ โดยให้

$$Z_{mn} = - \int_{S_p} \int_{S_p} f_s^m(x) f_s^n(x_0) f_u(y) \cdot f_u G_{xx}^{EJ}(x, y; x_0, y_0) ds ds_0 \quad (2.11)$$

และ $|V|$ คือหน่วยโวลต์ตรงกับองค์ประกอบโดยให้

$$\begin{aligned} V_n &= \int_{S_p} E_x^i f_s^n(x) f_u(y) ds \\ &= \int_{S_p} \int_{S_a} e_x^a(x_0, y_0) G_{xy}^{EM}(x, y; x_0, y_0) f_s^n(x) f_u(y) ds ds_0 \end{aligned} \quad (2.12)$$

สมการเหล่านี้สามารถแสดงโดยการเขียนในสเปกตรัมโดเมน คือ

$$Z_{mn} = \frac{-1}{4\pi^2} \iint_{-\infty}^{\infty} F_s^m(k_x) F_s^n(k_x) F_u^2(k_y) \cdot \tilde{G}_{xx}^{EJ}(k_x, k_y) dk_x dk_y \quad (2.13)$$

$$V_n = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{-\infty}^{\infty} F_s^n(k_x) F_p(k_x) F_u^2(k_y) \cdot \tilde{G}_{xy}^{EM}(k_x, k_y) dk_x dk_y \quad (2.14)$$

การเชื่อมติดต่อสายอากาศแผ่นต่อค่าแอดมิตแดนซ์ของช่องเปิด โดย

$$Y^a = [Y]^{-1}[V] \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอิมพีแดนซ์อนุกรมสมมูลย์ มองจากสายป้อน คือ

$$Z = Z_c \frac{\Delta v^2}{Y^e + Y^a} \quad (2.16)$$

การวิเคราะห์ขั้นสูง เป็นการพิจารณาความเหมาะสมของความแตกต่างระหว่าง ϵ_r และความหนาแน่นของวัสดุฐานรอง ซึ่งจะแยกกันระหว่าง สายอากาศกับวัสดุฐานรอง ตัวป้อนการเชื่อมต่อสัญญาณผ่านช่องเปิดนั้น เป็นการวิเคราะห์จากจุดป้อนหรือแผ่นสายอากาศหรือทั้งสอง (โดยปรับ y_n หรือ y) แต่เพื่อความเหมาะสมจุดระยะห่างจึงไม่ต้องสนใจ (เว้นแต่การป้อนทั้งสองจะจำเป็น เช่น เมื่อต้องการโพลาไรเซชันแบบวงกลม) การคับปลิงจะลดลง การวิเคราะห์ขั้นสูงจะสมมุติให้ช่องเปิดอยู่ตรงจุดกึ่งกลางของทั้งแผ่นสายอากาศและตัวป้อนสัญญาณ

การส่งผ่านสัญญาณผ่านช่องเปิดไปยังสายอากาศนั้นปรกติจะใช้วงจรสายท่อนั้นแบบเปิดของสายไมโครสตริป ความยาวประมาณ $\lambda/4$ ถ้าสายท่อนั้นยาว L_s อินพุทอิมพีแดนซ์ที่มองไปสู่สายป้อนไมโครสตริปจากช่องเปิด คือ

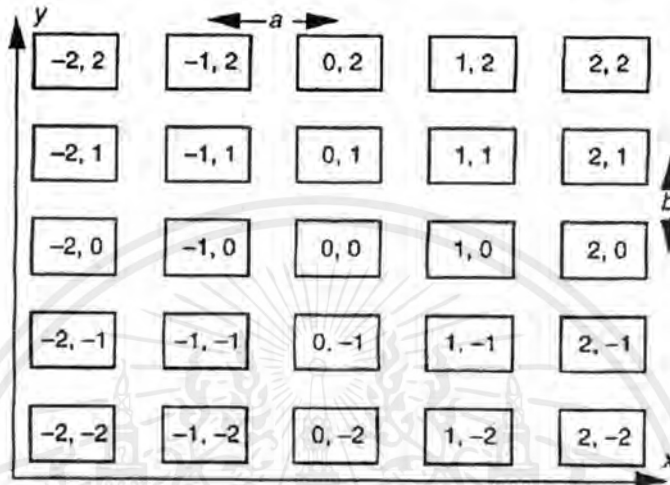
$$Z_m = Z - jZ_c \cot \beta L_s \quad (2.17)$$

ผลของความแม่นยำสามารถหาได้โดยการเพิ่มความยาวของ L_s ต่อกออกไป เพื่อดูผลของสนามฟรินเจอร์ ที่ปลายของสายท่อนั้นแบบเปิด สำหรับการพิจารณาที่ความยาว $0.4 d_s$ เมื่อ d_s คือความหนาของวัสดุฐานรองสายป้อนสัญญาณ

2.4 สายอากาศแบบแถวลำดับ

2.4.1 สายอากาศแถวลำดับแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ระยะห่างของแต่ละองค์ประกอบจะสมมติให้วางอยู่บนแกน x,y ในลักษณะที่เป็นแถวลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สายอากาศแถวลำดับแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

จุดศูนย์กลางของแผ่นสายอากาศ (m,n) จะเป็นการวางในรูปแบบแกน X,Y

$$x_m = x_o + m a \quad y_n = y_o + n b \quad (2.18)$$

โดยที่ a และ b เป็นระยะห่างของแผ่นในแนวนอนและแนวตั้ง (x_o, y_o) จะเป็นตัวกำหนด โดยให้จุดอ้างอิงอยู่ที่แผ่นสายอากาศ $(0,0)$

ในส่วนของทิศทางของบีม (Beam) จะเป็น (θ, ϕ) โดยที่ θ เป็นมุมเงย (elevation) และ ϕ เป็นมุมอาซิมูท (azimuth) จะหาได้จากระบบแกน x,y,z และองค์ประกอบ (m,n) เป็นตัวจ่ายกระแสที่จ่าย Φ_{mn} (Phase shift)

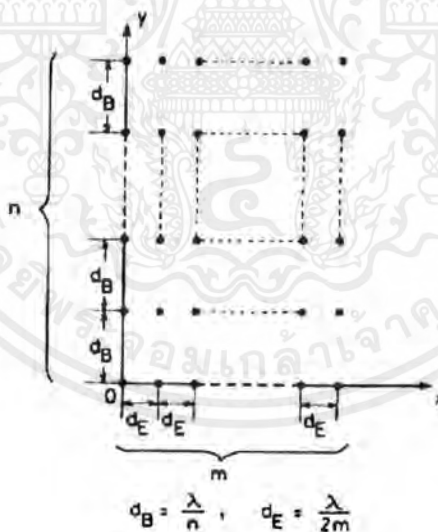
$$\Phi_{mn} = -\omega \sqrt{\epsilon_o \mu_o} \sin \theta (m a \cos \phi + n b \sin \phi) \quad (2.19)$$

2.4.2 การวางตำแหน่งสายอากาศแถวลำดับเพื่อลดระดับพูข้าง (Sidelobe)

(Almost Nonsidelobe Unidirectional Planar Arrays : AUPA)

เราจะพิจารณาที่พูข้าง (Sidelobe) ขนาดเล็ก ซึ่งเกิดที่ด้านข้างและด้านล่างของสายอากาศแถวลำดับซ้อนทับกันอยู่ โดยมากจะเกิดกับสายอากาศแถวลำดับแบบผิวหน้าตั้งแต่ 2×2 องค์ประกอบขึ้นไป โดยพูข้างจะตั้งฉากและซ้อนทับกัน ในกรณี 2 องค์ประกอบด้านล่างของสายอากาศแถวลำดับจะมีระยะห่างกัน $\lambda/4$ และด้านข้างของสายอากาศแถวลำดับจะห่างกัน $\lambda/2$ จะทำให้เกิดพูข้างขนาดเล็ก 2 อัน คิดเป็นอัตราส่วนกับพูหลัก (Mainlobe) ประมาณ 0.1 ซึ่งแสดงว่าระยะห่างขนาดนี้ทำให้ขนาดของพูข้างลดลง

ในการใช้งานนั้น จะนำค่า $m \times n$ องค์ประกอบ ของ AUPA ซึ่งมีโครงสร้างแบบสี่เหลี่ยม โดยการลดพูข้างด้านล่างจะให้ระยะของสายอากาศแถวลำดับด้านล่างห่างกันเป็น $\lambda/2m$ และการลดพูข้างด้านข้างจะให้ระยะห่างของสายอากาศแถวลำดับด้านข้างห่างกันเป็น λ/n เมื่อ m และ n เป็นจำนวนขององค์ประกอบบนแกนทั้งสองของสายอากาศแถวลำดับ ($m \geq 2, n \geq 2$) หลักการของ AUPA นี้ ถ้าเราใช้จำนวน $mn > 4$ จะทำให้ได้ขนาดของพูหลักใกล้เคียงของเดิม แต่ขนาดของพูข้างจะเล็กลงกว่าแบบ 2×2 องค์ประกอบ



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ $m \times n$ องค์ประกอบแบบ AUPA

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นว่าหลักการ AUPA จะวางองค์ประกอบต่างๆลงบนระนาบ xy โดยให้การลดพูข้างด้านล่างเป็นเส้น m ขนานกับแกน x และให้การลดพูข้างด้านข้างเป็นเส้น n ขนานกับแกน y ในด้านล่างจะมีระยะห่างระหว่างองค์ประกอบคือ $d_E = \lambda/2m$ ส่วนด้านข้างจะมีระยะห่าง

ระหว่างองค์ประกอบคือ $d_b = \lambda/n$ จะแสดงให้เห็นจากสมการ $|F_E(\theta, \phi)|$ (nonsidelobe endfire array pattern) ของ m องค์ประกอบตามแกน x

$$|F_E(\theta, \phi)| = \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \phi \sin \theta\right)}{m \sin\left\{\frac{\pi}{2m}(1 - \cos \phi \sin \theta)\right\}} \quad (2.20)$$

และสมการ $|F_B(\theta, \phi)|$ (nonsidelobe broadside array pattern) (2.20) ของ n องค์ประกอบตามแกน y

$$|F_B(\theta, \phi)| = \frac{\sin(\pi \sin \phi \sin \theta)}{n \sin\left(\frac{\pi}{n} \sin \phi \sin \theta\right)} \quad (2.21)$$

จากนั้นทำการนอร์มอลไลซ์ (normalize) สมการที่ (2.21) จะได้สมการของ (2.22) บนระนาบ xy คือ

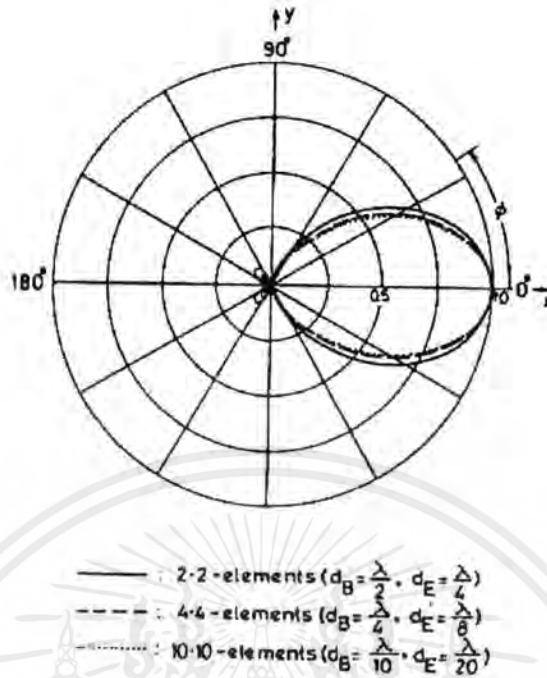
$$\begin{aligned} |F(\phi)| &= \left| F_E\left(\theta = \frac{\pi}{2}, \phi\right) \right| \cdot \left| F_B\left(\theta = \frac{\pi}{2}, \phi\right) \right| \\ &= \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \phi\right) \sin(\pi \sin \phi)}{mn \sin\left\{\frac{\pi}{2m}(1 - \cos \phi)\right\} \sin\left(\frac{\pi}{n} \sin \phi\right)} \end{aligned} \quad (2.22)$$

เมื่อ mn คือ ผลรวมขององค์ประกอบทั้งหมด จะได้พื้นที่ของสายอากาศแถวลำดับ (S) ของ AUPA

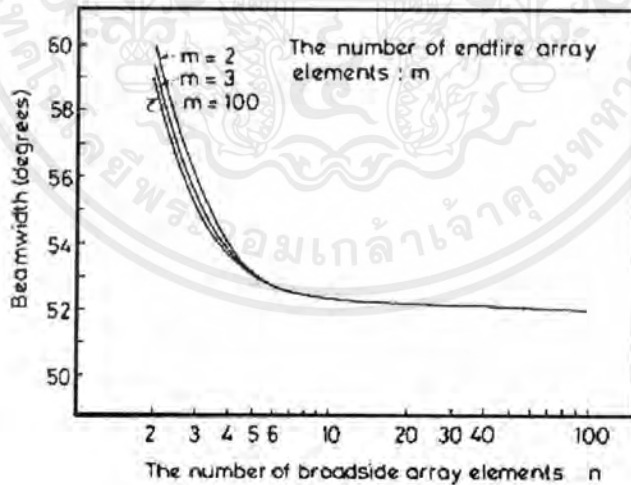
$$S = \frac{(m-1)(n-1)\lambda^2}{2mn} \quad (2.23)$$

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของ AUPA และกราฟของบีมิวิตซ์ แสดงในรูปที่ 2.9 และ 2.10 ตามลำดับ ซึ่งจะพบว่าบีมิวิตซ์จะขึ้นอยู่กับค่าของ n ส่วนกราฟอัตราส่วนระหว่างพหุคูณต่อพหุขั้วจะแสดงในรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

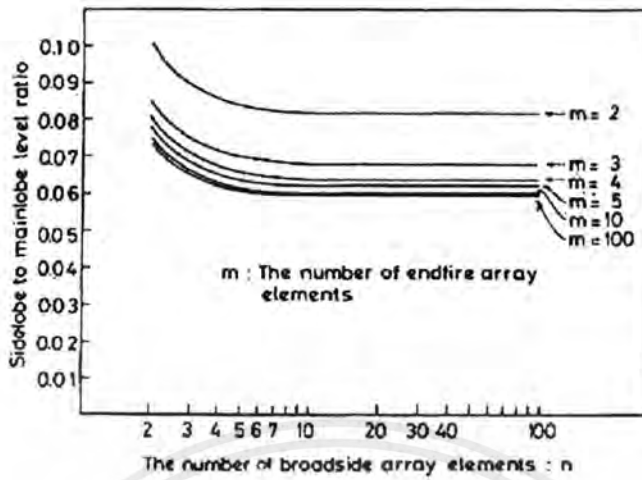


รูปที่ 2.9 การนอร์มอลไลซ์ (Normalize) แบบรูปของ 2×2 , 4×4 และ 10×10 องค์ประกอบ



รูปที่ 2.10 โมโนแกรม (Monogram) ของ m , n และปมวิคซ์ของ $m \times n$ องค์ประกอบ

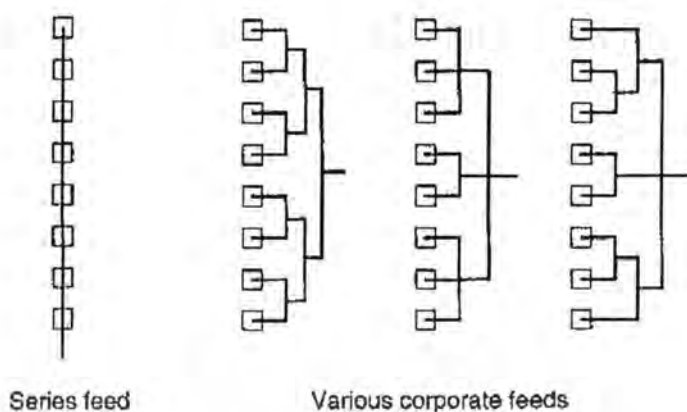
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 อัตราส่วนของระดับพูหลัก (mainlobe) ต่อพูข้าง (sidelobe) สำหรับ $m \times n$ องค์ประกอบ

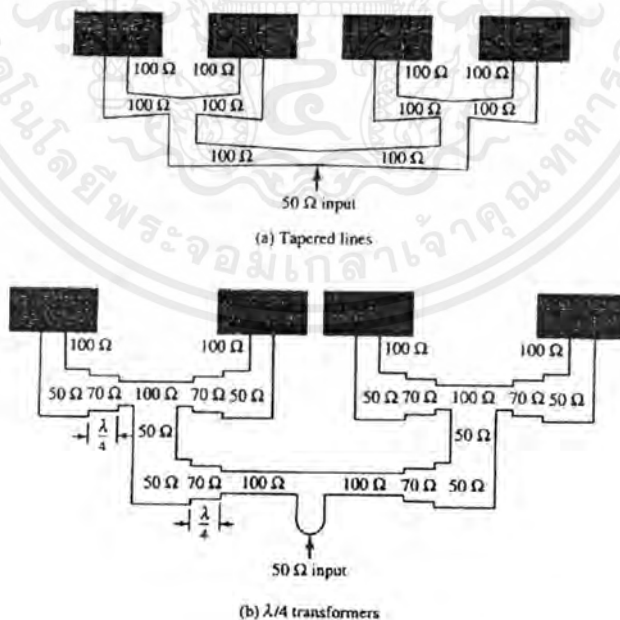
2.4.3 การป้อนสัญญาณ

สายอากาศไมโครสตริปนอกจากจะใช้เพียงองค์ประกอบเดี่ยวแล้ว ยังนิยมใช้แบบแถว ลำดับอีกด้วย แถวลำดับสามารถนำไปใช้ร่วมกับสิ่งต่างๆ ได้มากมาย เพื่อทำการสังเคราะห์แบบรูปที่ต้องการซึ่งไม่สามารถสังเคราะห์ได้โดยใช้สายอากาศองค์ประกอบเดี่ยว นอกจากนี้แถวลำดับยังนำไปใช้ในการสแกนลำคลื่น (Beam) ของระบบสายอากาศ, เพิ่มโคเรกทีวิตี และแสดงฟังก์ชันต่างๆ ได้ ซึ่งสามารถทำได้ยากเมื่อใช้สายอากาศองค์ประกอบเดี่ยว องค์ประกอบสามารถถูกป้อนได้ โดยการป้อนเพียงเส้นเดียว (single line) แสดงดังรูป 2.12 (a) หรือการป้อนหลายเส้น (multiple line) แสดงดังรูป 2.12 (b) การป้อนเพียงเส้นเดียวจะเรียกว่า “โครงข่ายการป้อนอนุกรม” (series-feed network) ส่วนการป้อนหลาย ๆ เส้น จะเรียกว่า “โครงข่ายการป้อนร่วม” (corporate-feed network)



รูปที่ 2.12 ลักษณะการป้อนสัญญาณให้สายอากาศแถวลำดับ

โครงข่ายการป้อนร่วม จะใช้ในการแบ่งกำลังงานเป็น 2^n วิธีการนี้ทำได้โดยใช้สายเทปเปอร์ (taper line) ในการแมตช์แผ่นองค์ประกอบ 100Ω จากอินพุต 50Ω หรือจะใช้ตัวแปลงอิมพีแดนซ์แบบหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.13 (b)



รูปที่ 2.13 เทเปอร์ (Tapered) และสายแปลงอิมพีแดนซ์ $\lambda/4$ เพื่อแมตช์แพทช์ 100Ω กับสาย 50Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แถวลำดับที่ป้อนแบบอนุกรมสามารถสร้างขึ้นได้โดยสะดวกเมื่อใช้กระบวนการทางภาพ (Photolithography) กับองค์ประกอบที่แผ่กระจาย และโครงข่ายการป้อน อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้จะมีค่าจำกัดเมื่อใช้กับแถวลำดับที่มีค่าคลื่นเจาะจงลงไป หรือแถวลำดับที่ถูกสแกน โดยความถี่ต่างๆ กันไป แต่วิธีการนี้สามารถประยุกต์ใช้กับแถวลำดับเชิงเส้น และแถวลำดับแบบระนาบที่มีโพลาริเซชันเดียว หรือ 2 โพลาริเซชัน เมื่อองค์ประกอบหรือสายที่ป้อนใด ๆ มีการเปลี่ยนแปลง จะทำให้มีผลกระทบต่อองค์ประกอบหรือสายที่ป้อนอื่น ๆ ด้วย ดังนั้นในการออกแบบจะต้องมีการคำนึงถึงสิ่งนี้และผลที่จะเกิดขึ้นอื่นๆ ด้วย เช่น มิววลคัปปลิงและการสะท้อนกลับภายใน (internal reflection)

แถวลำดับที่ป้อนร่วม (Corporate-fed arrays) นี้ ผู้ออกแบบจะมีการควบคุมการป้อนในแต่ละองค์ประกอบ (ขนาดและเฟส) อย่างมาก จากที่ผ่านมาจะทราบว่าเฟสของแต่ละองค์ประกอบสามารถควบคุมได้โดยใช้ตัวเลื่อนเฟส (phase shifter) ในขณะที่สามารถปรับขนาด (amplitude) ได้โดยใช้วงจรขยายหรือวงจรลดทอน

การแผ่กระจายจากสายที่ป้อน เมื่อใช้โครงข่ายการป้อนแบบอนุกรมหรือโครงข่ายการป้อนแบบร่วมนั้นจะเป็นปัญหาที่รุนแรง ที่ซึ่งจะมีการจำกัดโพลาริเซชันไขว้ และระดับพุดคลื่นด้านข้าง (side lobe) ของแถวลำดับ ทั้งโพลาริเซชันไขว้และระดับของพุดคลื่นด้านข้าง สามารถปรับปรุงได้ โดยการแยกโครงข่ายการป้อนจากผิวการแผ่กระจายของแถวลำดับซึ่งทำได้โดยใช้การป้อนด้วยโพรบหรือการคัปปลิงผ่านช่องเปิด

2.5 เทคนิคการแมตช์ด้วยตัวแปลงอิมพีแดนซ์แบบหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น (Quarter Wave Transformers Matching Techniques)

คุณสมบัติของตัวแปลงอิมพีแดนซ์แบบหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นสามารถอธิบายโดยสมการสายส่งสัญญาณคือ

$$Z_{in} = Z_o \frac{Z_L + jZ_o \tan \beta \ell}{Z_o + jZ_L \tan \beta \ell} \quad (2.24)$$

เมื่อกำหนดให้ $\ell = \lambda / 4$ และ $\beta = 2\pi / \lambda$ จะได้

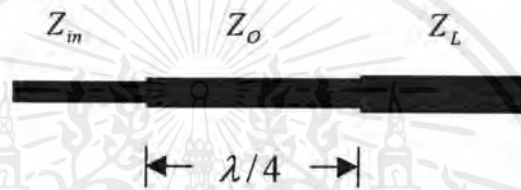
$$Z_{in} = Z_o \frac{Z_L + jZ_o \tan(\pi/2)}{Z_o + jZ_L \tan(\pi/2)}$$

$$Z_{in} = \frac{Z_o^2}{Z_L} \quad (2.25)$$

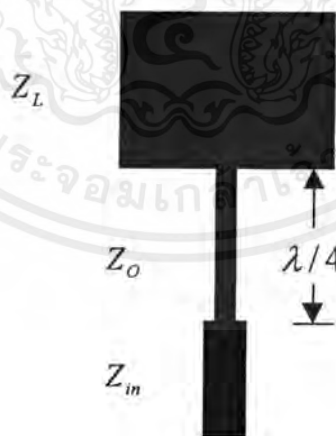
ดังนั้น เมื่อย้ายข้างสมการเพื่อหา Z_o เราจะได้ความสัมพันธ์ของสมการดังนี้

$$Z_o = \sqrt{Z_{in} \times Z_L} \quad (2.26)$$

จากสมการที่ (2.26) ซึ่งจะถูกใช้ในการแมชอิมพีแดนซ์ระหว่างสายส่งสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ต่างกันหรือระหว่างแหล่งจ่ายกับโหลดที่มีอิมพีแดนซ์ต่างกันให้สามารถต่อและส่งสัญญาณผ่านถึงกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 2.14

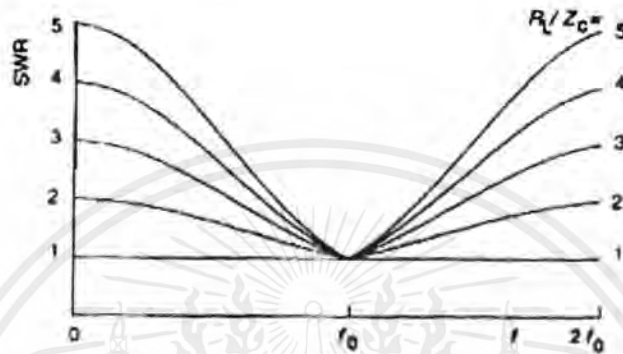


รูปที่ 2.14 การใช้ตัวแปลงอิมพีแดนซ์แบบหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นแมตซ์ระหว่างสายส่งที่มีอิมพีแดนซ์ต่างกัน ($Z_{in} \neq Z_L$)



รูปที่ 2.15 การใช้ตัวแปลงอิมพีแดนซ์แบบหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นแมตซ์ระหว่างสายส่งกับสายอากาศ

ข้อจำกัดอย่างหนึ่งของ ตัวแปลงอิมพีแดนซ์แบบหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น คือ สามารถใช้งานได้เฉพาะความถี่ที่ออกแบบไว้ ถ้าการออกแบบกำหนดความถี่ที่ใช้งานเป็น f_0 คุณสมบัติการแมตซ์อิมพีแดนซ์จะดีที่สุดที่จุด f_0 และถ้าเลื่อนความถี่ใช้งานสูงขึ้นหรือลดลง จะทำให้คุณสมบัติการแมตซ์อิมพีแดนซ์แย่ลง หรือที่เรียกว่า การไม่แมตซ์ (mismatch) ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 กราฟแสดงค่า SWR ที่อินพุตของตัวแปลงอิมพีแดนซ์แบบหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น

2.6 สรุป

ในระบบการติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย สายอากาศถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างมาก เพราะจะเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งและรับสัญญาณที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศ แทนการรับและส่งสัญญาณในสายนำสัญญาณ ดังนั้นการออกแบบสายอากาศให้ตรงกับความต้องการในการใช้งาน จะช่วยให้ระบบสื่อสารสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เนื่องจากในโครงการนี้เราต้องการสายอากาศที่ใช้งานย่านความถี่ไมโครเวฟ จึงเลือกใช้สายอากาศไมโครสตริปชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบแถวลำดับขนาด 4×4 องศาประกอบเพราะจะช่วยเพิ่มแบนด์วิดท์ของสายอากาศให้กว้างขึ้น และมีปมวิคท์ที่แคบลงเมื่อเทียบกับการใช้สายอากาศไมโครสตริปชนิดเดี่ยว นอกจากนี้การเชื่อมต่อสัญญาณแบบผ่านช่องเปิด จะช่วยลดการแผ่กระจายปลอมปนของสัญญาณที่จะรบกวนกันระหว่างแผ่นสายอากาศกับสายป้อนสัญญาณ ทำให้ได้โพลาริเซชันที่บริสุทธิ์ขึ้น ส่วนการรวมสัญญาณจากสายป้อนสัญญาณจะใช้การแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้วยตัวแปลงอิมพีแดนซ์หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น ซึ่งสามารถนำมาใช้งานได้มีประสิทธิภาพ

ดังนั้น จึงได้ศึกษาทฤษฎีในส่วนต่างเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบในบทต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

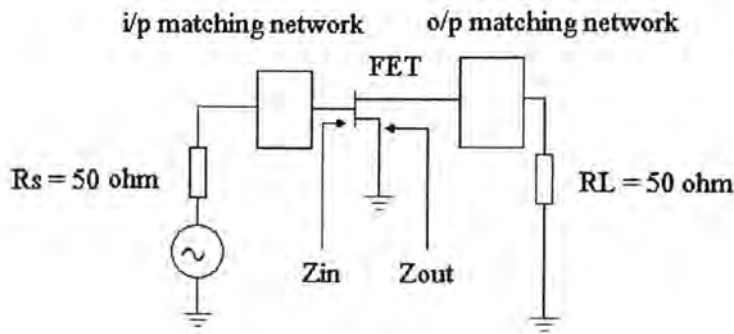
บทที่ 3

ทฤษฎีการออกแบบวงจรรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ

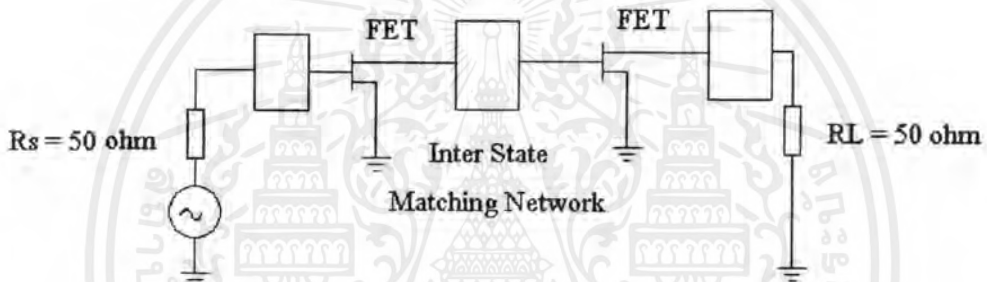
3.1 กล่าวนำ

วงจรรขยายย่านความถี่ไมโครเวฟ สามารถที่จะทำการแบ่งการวิเคราะห์ ได้เป็น 2 ประเภท คือ วิเคราะห์วงจรโดยพิจารณาจากตัวอุปกรณ์ว่าเป็นทรานซิสเตอร์ชนิดสองรอยต่อ (BIPOlar TRANSISTORS) หรือ FETs และการวิเคราะห์วงจรโดยพิจารณาจากย่านการขยายว่าเป็นย่านแคบ (NARROW BAND) หรือย่านกว้าง (WIDE BAND) ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาวงจรรขยายในย่านความถี่ไมโครเวฟ ตั้งแต่ความถี่ 1 – 30 GHz การออกแบบวงจรรขยายนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์หลักของการนำวงจรรขยายนั้นไปใช้งาน เพราะวงจรรขยายที่ออกแบบมาจะมีคุณสมบัติในแต่ละวงจรไม่เหมือนกัน เช่น ถ้าต้องการวงจรรขยายที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ กำลังการขยายวงจรรนี้ก็จะต่ำด้วย และถ้าต้องการวงจรรที่มีกำลังการขยายสูงๆ ก็จะมีสัญญาณรบกวนสูงตามไปด้วย เป็นต้น ดังนั้นในการออกแบบจึงต้องขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการทำโครงการนี้จะเริ่มจากการพิจารณาที่วงจรรขยายที่มีสัญญาณอินพุทขนาดเล็ก (SMALL SIGNAL)

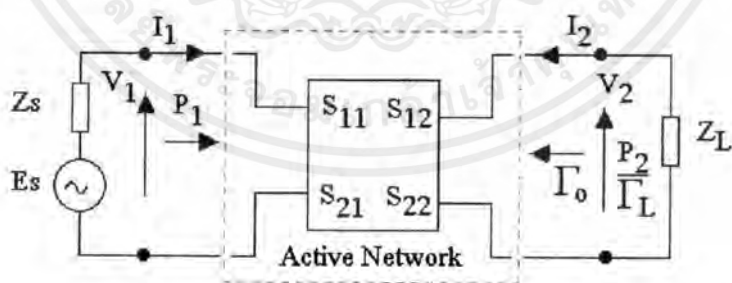
ในการออกแบบวงจรรขยายสัญญาณย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยทั่วไปจะกำหนดให้อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายและโหลดมีค่าความต้านทาน 50 โอห์ม (Ω) และอุปกรณ์จำพวกแอกทีฟจะนำมาใช้ในการขยาย และในวงจรรขยายนี้จะพิจารณาให้ความต้านทานของพอร์ตเป็น 50 โอห์ม ซึ่งหมายความว่ามันจะแทนค่าความแตกต่างของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของทั้งสองพอร์ตคือพอร์ตด้านสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแหล่งจ่าย และสัมประสิทธิ์การสะท้อนของโหลดของวงจรมีค่าเป็น 50 โอห์ม ซึ่งในบางครั้งอิมพีแดนซ์ของทั้งสองพอร์ตจะมีค่าไม่เท่ากัน ก่อให้เกิดปัญหาความไม่แมตซ์กันของอิมพีแดนซ์ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้อิมพีแดนซ์ต่างวงจรมีค่าเท่ากัน เพื่อให้เกิดการส่งถ่ายกำลังงานไปให้ได้มากที่สุด ซึ่งจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ดังนี้



รูปที่ 3.1 วงจรที่มีการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของวงจรขยายแบบหนึ่งสถานะ (SINGLE-STATE)



รูปที่ 3.2 วงจรขยายย่านแคบ (Narrow Band) แบบสองสถานะ (TWO-STATE)



รูปที่ 3.3 วงจรทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์วงจรในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เสถียรภาพของวงจรถยาย (Amplifier Stability)

เสถียรภาพของวงจรถยายเป็นส่วนที่สำคัญมากในการออกแบบวงจรถยายไมโครเวฟ ในการออกแบบนั้นจะใช้วิธีการพารามิเตอร์การกระจาย การวิเคราะห์จากแหล่งกำเนิด และโหลดอิมพีแดนซ์

3.2.1 ชนิดของเสถียรภาพของวงจรถยาย

ชนิดของวงจรถยาย มี 2 ชนิด คือ

3.2.1.1 เสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข

โดยมีส่วนจริงของอินพุทอิมพีแดนซ์ (Z_{in}) และเอาต์พุทอิมพีแดนซ์ (Z_{out}) มีค่ามากกว่าศูนย์สำหรับค่าจริงบางค่าที่เป็นบวกทางแหล่งกำเนิดและโหลดอิมพีแดนซ์ ที่มีความถี่ใดความถี่หนึ่ง

3.2.1.2 เสถียรภาพแบบไม่มีเงื่อนไข

โดยมีส่วนจริงของอินพุทอิมพีแดนซ์ และเอาต์พุทอิมพีแดนซ์ ที่มีค่ามากกว่าศูนย์สำหรับค่าจริงทั้งหมดที่เป็นบวกทางแหล่งกำเนิดและโหลดอิมพีแดนซ์ ที่มีความถี่ใดความถี่หนึ่ง

โดยที่ค่าจริงที่มีค่าเป็นบวกทางแหล่งกำเนิดและโหลดอิมพีแดนซ์ หมายความว่า

$$\Gamma_s \leq 1 \text{ และ } \Gamma_l \leq 1 \quad (3.1)$$

3.2.2 วงกลมเสถียรภาพ

อัตราขยายสูงสุด (G_{max}) สามารถหาได้โดยตรง โดยให้ Γ_s ของแหล่งกำเนิดเท่ากับการสังยุคของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับทางอินพุท (Γ_{in}) และสัมประสิทธิ์การสะท้อนของโหลด Γ_l เท่ากับการสังยุคของสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับทางเอาต์พุท (Γ_{out}) จะได้

$$\Gamma_s = \Gamma_{in}^* \text{ และ } \Gamma_l = \Gamma_{out}^* \quad (3.2)$$

สำหรับวงจรถยายไมโครเวฟที่เสถียรภาพแบบไม่มีเงื่อนไขนั้น ขนาดของ S_{11} , S_{22} , Γ_{in} และ Γ_{out} จะต้องมีค่าน้อยกว่า 1 และธรรมชาติวิสัยของตัวทรานซิสเตอร์ (Transistor Inherent) โดยที่ตัวประกอบเสถียรภาพ K ต้องมากกว่า 1 และมีค่าเป็นบวกโดยที่ค่า K หาได้จากสมการที่ (3.3)

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|} \quad (3.3)$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|\Delta| = |S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}| < 1 \quad (3.4)$$

หรือ

$$1 - |S_{11}|^2 > |S_{12}S_{21}| \quad (3.5)$$

$$1 - |S_{22}|^2 > |S_{12}S_{21}| \quad (3.6)$$

ค่าอินพุตและเอาต์พุตของสัมประสิทธิ์การสะท้อน หาได้จากสมการ

$$\Gamma_{in} = S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_l}{1 - S_{22}\Gamma_l} \quad (3.7)$$

$$\Gamma_{out} = S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_s}{1 - S_{11}\Gamma_s} \quad (3.8)$$

เงื่อนไขของขอบเขตของการเสถียร

$$|\Gamma_{in}| = \left| S_{11} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_l}{1 - S_{22}\Gamma_l} \right| < 1 \quad (3.9)$$

$$|\Gamma_{out}| = \left| S_{22} + \frac{S_{12}S_{21}\Gamma_s}{1 - S_{11}\Gamma_s} \right| < 1 \quad (3.10)$$

นำค่าจริงและค่าจินตภาพของพารามิเตอร์การกระจายในสมการ (3.9) และสมการ (3.10)

จะได้

$$r_s \text{ (รัศมีวงกลม } \Gamma_s \text{)} = \frac{|S_{12}S_{21}|}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2} \quad (3.11)$$

$$c_s \text{ (จุดศูนย์กลางกลางของวงกลม } \Gamma_s \text{)} = \frac{C_s^*}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2} \quad (3.12)$$

$$r_l \text{ (รัศมีของวงกลม } \Gamma_l \text{)} = \frac{|S_{12}S_{21}|}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \quad (3.13)$$

$$c_l \text{ (จุดศูนย์กลางกลางของวงกลม } \Gamma_l \text{)} = \frac{C_l^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2} \quad (3.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} \quad (3.15)$$

$$C_s = S_{11} - \Delta S_{22}^* \quad (3.16)$$

$$C_l = S_{22} - \Delta S_{11}^* \quad (3.17)$$

สัมประสิทธิ์การสะท้อนของอิมพีแดนซ์ที่แหล่งจ่าย จะต้องการเข้าคู่แบบสังยุคที่อินพุทของวงจรขยาย สำหรับอัตราขยายสูงสุด จะได้

$$\Gamma_{sm} = C_s^* \frac{B_s \pm \sqrt{B_s^2 - 4|C_s|^2}}{2|C_s|^2} \quad (3.18)$$

เมื่อ

$$B_s = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |\Delta|^2 \quad (3.19)$$

ในลักษณะเดียวกัน ค่า Γ_{lm} จะได้

$$\Gamma_{lm} = C_l^* \left[\frac{B_l \pm \sqrt{B_l^2 - 4|C_l|^2}}{2|C_l|^2} \right] \quad (3.20)$$

เมื่อ

$$B_l = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |\Delta|^2 \quad (3.21)$$

ถ้าคำนวณค่าของ B_s และ B_l เป็นค่าลบให้ใช้ค่าที่เป็นบวก (ตรงเครื่องหมาย \pm) ในสมการที่ (3.18) และสมการที่ (3.19) ในทางกลับกัน ถ้าค่า B_s และ B_l เป็นค่าบวกให้ใช้เครื่องหมายลบ (ตรงเครื่องหมาย \pm)

วงกลมเสถียรภาพสามารถพล็อตลงบนสมิทชาร์ตได้โดยตรง วงกลมนี้จะแยกจากกันระหว่างอินพุทและเอาต์พุท

3.2.3 เสถียรวิกฤต

3.2.3.1 เสถียร เมื่อ $K > 1$ และ $|\Delta| < 1$

1) เสถียรแบบไม่มีเงื่อนไข :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\|c_s - r_s\| > 1 \quad \text{กรณี} \quad |S_{22}| < 1 \quad (3.22)$$

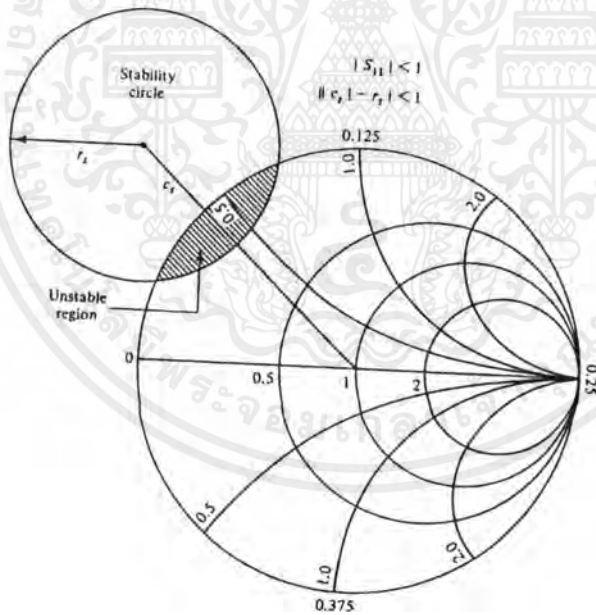
$$\|c_s - r_l\| > 1 \quad \text{กรณี} \quad |S_{11}| < 1 \quad (3.23)$$

2) เสถียรแบบมีเงื่อนไข :

$$\|c_s - r_s\| < 1 \quad \text{กรณี} \quad |S_{22}| < 1 \quad (3.24)$$

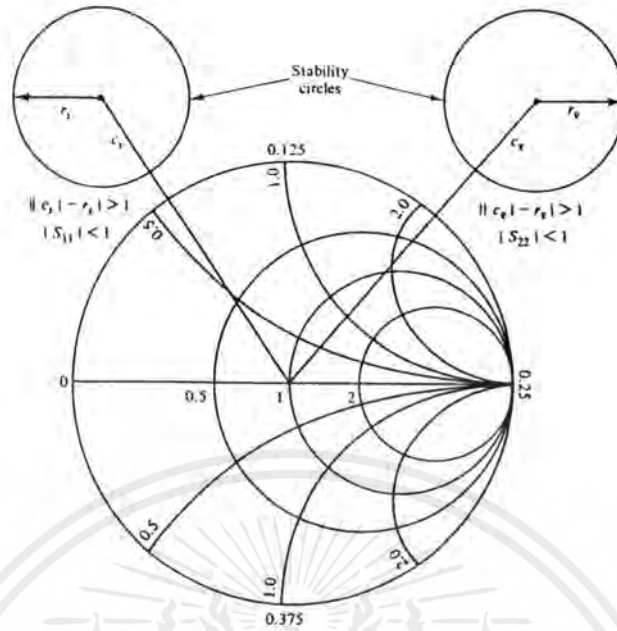
$$\|c_s - r_l\| < 1 \quad \text{กรณี} \quad |S_{11}| < 1 \quad (3.25)$$

สรุป: สำหรับการเสถียรภาพแบบไม่มีเงื่อนไข ต้องให้วงกลมเสถียรภาพอยู่ภายนอกสมิทซาร์ต ดังรูปที่ 3.5 ถ้าวงกลมเสถียรภาพทับซ้อนกับสมิทซาร์ต ดังนั้นการเสถียรภาพจะเป็นแบบมีเงื่อนไข แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 เสถียรภาพแบบไม่มีเงื่อนไข

3.3 อัตราการขยายกำลัง (Power Gain)

อัตราการขยายกำลังจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีได้แก่ เสถียรภาพแบบไม่มีเงื่อนไขและ เสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข

กรณีที่ 1.) เสถียรภาพแบบไม่มีเงื่อนไข $K > 1$ และ $|\Delta| < 1$

จะเกิดขึ้นได้เมื่อ $K > 1$ และ $|\Delta| < 1$

$$G_T = G'_s G_O G_L \quad (3.26)$$

$$G'_s = \frac{1 - |\Gamma_s|^2}{|1 - \Gamma_{IN} \Gamma_s|^2} \quad (3.27)$$

และ

$$G_L = \frac{1 - |\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22} \Gamma_L|^2} \quad (3.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการออกแบบ

1. จากสมการที่ (3.28) ได้มาจากการเลือกค่า Γ_L จากวงกลมอัตราขยายกำลังจะได้ G_L
2. คำนวณหาค่า Γ_{IN} ดังกล่าวได้ว่า Γ_{IN} ขึ้นอยู่กับ Γ_L ดังนั้น G'_S ก็ขึ้นอยู่กับ G_L ด้วย
3. จากสมการที่ (3.27) ได้มาจากการเลือกค่า Γ_L จากวงกลมอัตราการขยายกำลังจะได้ค่า G'_S และค่าของ G'_S ถ้าไม่เป็นที่พอใจจะต้องทำการเลือกค่า Γ_L ค่าอื่นแทน แล้วทำการออกแบบซ้ำใหม่
4. ออกแบบวงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์ (MATCHING)

ในทางปฏิบัติค่าที่ใช้ในการออกแบบ ได้แก่ G_p จะหาได้จาก

$$G_p = \frac{|S_{21}|^2(1-|\Gamma_L|^2)}{\left(1 - \frac{|S_{11} - \Delta\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2}\right)|1 - S_{22}\Gamma_L|^2} = |S_{21}|^2 g_p \quad (3.29)$$

เมื่อ

$$g_p = \frac{1-|\Gamma_L|^2}{|1 - S_{22}\Gamma_L|^2 - |S_{11} - \Delta\Gamma_L|^2} = \frac{1-|\Gamma_L|^2}{1 - |S_{11}|^2 + |\Gamma_L|^2(|S_{22}|^2 - |\Delta|^2) - 2\text{Re}(\Gamma_L C_2)} \quad (3.30)$$

และ

$$C_2 = S_{22} - \Delta S_{11}^* \quad (3.31)$$

ค่า G_p และ g_p จะเป็นฟังก์ชันของ S พารามิเตอร์และ Γ_L จากค่า Γ_L ในวงกลมอัตราการขยายกำลังจะหาได้จาก $\Gamma_L = U_L + jV_L$ เอาไปแทนในสมการที่ (3.30) จะได้

$$\left[U_L - \frac{g_p \text{Re}[C_2^*]}{1 + g_p(|S_{22}|^2 - |\Delta|^2)} \right]^2 + \left[V_L - \frac{g_p \text{Im}[C_2^*]}{1 + g_p(|S_{22}|^2 - |\Delta|^2)} \right]^2 = \left[\frac{[1 - 2K|S_{21}S_{12}|g_p + |S_{12}S_{21}| 2g_p^2]^{1/2}}{1 + g_p(|S_{22}|^2 - |\Delta|^2)} \right]^2 \quad (3.32)$$

จากสมการที่ (3.32) ในระนาบ $U_L : V_L$ ของพารามิเตอร์ g_p จุดกึ่งกลางของวงกลมหาได้จาก

$$U_P = \frac{g_p \operatorname{Re}[C_2^*]}{1 + g_p (|S_{22}|^2 - |\Delta|^2)} \quad (3.33)$$

และ

$$V_P = \frac{g_p \operatorname{Im}[C_2^*]}{1 + g_p (|S_{22}|^2 - |\Delta|^2)} \quad (3.34)$$

และค่ารัศมีของวงกลมหาได้จาก

$$R_P = \frac{[1 - 2K|S_{21}S_{12}|g_p + |S_{12}S_{21}| 2g_p^2]^{1/2}}{1 + g_p (|S_{22}|^2 - |\Delta|^2)} \quad (3.35)$$

ระยะจากจุดศูนย์กลางของสมิทชาร์ตไปยังจุดกึ่งกลางของวงกลมคือ

$$d_P = \sqrt{U_P^2 + V_P^2} = \frac{g_p |C_2^*|}{1 + g_p (|S_{22}|^2 - |\Delta|^2)} \quad (3.36)$$

ดังนั้นจุดกึ่งกลางของวงกลม C_p จะเขียนได้เป็น

$$C_p = \frac{g_p [C_2^*]}{1 + g_p (|S_{22}|^2 - |\Delta|^2)} \quad (3.37)$$

ค่าอัตราขยายสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ $R_p = 0$ ดังนั้นจากสมการที่ (3.35) จะเขียนได้เป็น

$$g_{p,\max}^2 |S_{12}S_{21}|^2 - 2K|S_{12}S_{21}|g_{p,\max} + 1 = 0 \quad (3.38)$$

เมื่อ $g_{p,\max}$ เป็นค่าสูงสุดของ g_p แล้ว การทำสมการที่ (3.38) วงจรเสถียรภาพแบบไม่มีเงื่อนไขจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g_{p,\max} = \frac{1}{|S_{12}S_{21}|} (K - \sqrt{K^2 - 1}) \quad (3.39)$$

และแทนสมการที่ (3.39) ลงในสมการที่ (3.30) จะได้

$$G_{p,\max} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} (K - \sqrt{K^2 - 1}) \quad (3.40)$$

การออกแบบโดยการวาดรูปวงกลมอัตราขยายกำลังลงในสมิธชาร์ตจะทำได้โดย

1. หาค่ารัศมี (radius) และจุดศูนย์กลางของวงกลมอัตราขยายกำลังได้จากสมการที่ (3.35), (3.37)
2. เลือกค่า Γ_L ตามความต้องการ
3. ค่าอัตราขยายกำลังสูงสุดที่เอาที่ทุกจะเป็นการแมตช์แบบตั้งขาคี่อื่นทุก ซึ่ง $\Gamma_S = \Gamma_{IN}$ และค่า Γ_S ได้มาจากการส่งกำลังอัตราขยาย $G_T = G_P$

การหาค่ารัศมีของวงกลม R_a และจุดศูนย์กลางของวงกลม C_a สามารถหาได้อีกวิธีหนึ่งได้

โดย

$$g_a = \frac{G_A}{|S_{21}|^2} \quad (3.41)$$

$$C_1 = S_{11} - \Delta S^*_{22} \quad (3.42)$$

$$R_a = \frac{[1 - 2K|S_{21}S_{12}|g_a + |S_{12}S_{21}|g_a^2]^{1/2}}{|1 + g_a(|S_{11}|^2 - |\Delta|^2)|} \quad (3.43)$$

และ

$$C_a = \frac{g_a[C_1^*]}{1 + g_a(|S_{11}|^2 - |\Delta|^2)} \quad (3.44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2.) เสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข $K < 1$ หรือ $|\Delta| > 1$

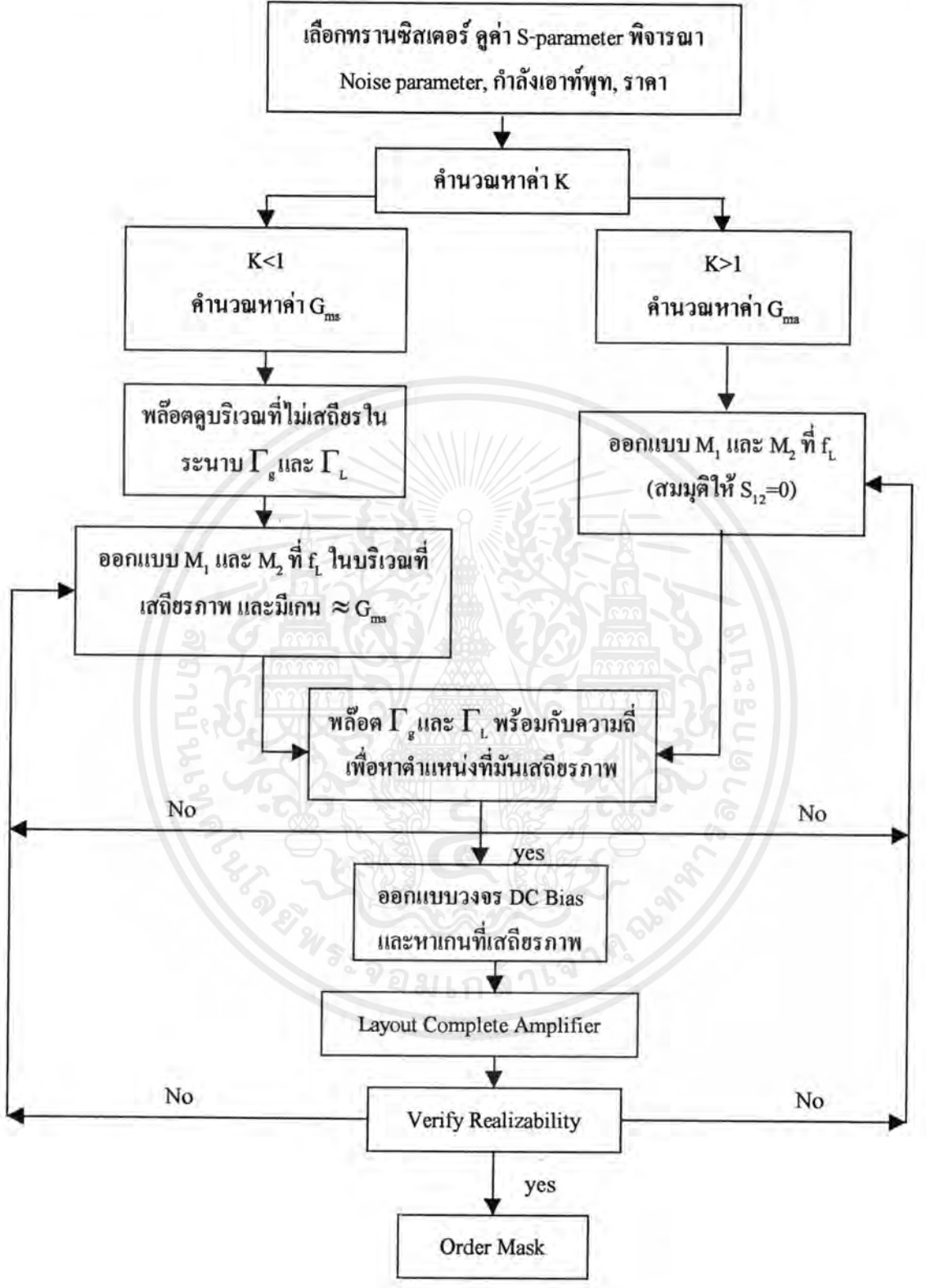
จะเป็นการออกแบบจาก G_p แต่ไม่เหมาะที่จะทำเพราะจะเป็นกระบวนการในการทำที่ซ้ำๆ ทำให้น่าเบื่อได้ ซึ่งในการทำจะทำได้ในลักษณะเดียวกันกับแบบเสถียรภาพแบบไม่มีเงื่อนไข

ขั้นตอนในการออกแบบ

1. วาดรูปวงกลมอัตราขยายกำลังจากสมการที่ (3.35) และ (3.37) และวาดวงกลมเสถียรภาพเอาท์พุท (Output stability) จากนั้นทำการเลือกค่า Γ_L ในบริเวณเสถียรภาพ
2. คำนวณค่า Γ_{IN} ในสมการที่ (3.7) และถ้าค่าการแมตช์แบบสังยุคที่เป็นไปได้ วาดรูปวงกลมเสถียรภาพของอินพุทและดูค่า $\Gamma_S = \Gamma_{IN}$ ว่าอยู่ในบริเวณอินพุทเสถียรภาพ
3. ถ้า $\Gamma_S = \Gamma_{IN}$ ไม่อยู่ในบริเวณที่เสถียรภาพ จะทำการเลือกค่า G_p หรือค่า Γ_S ตัวใหม่โดยทั่วไปเราจะทำการเลือกค่า Γ_S ที่ไม่กระทบกระเทือนต่อค่าอัตราขยายด้านเอาท์พุท และค่า VSWR



ขั้นตอนในการพิจารณาเพื่อใช้ในการออกแบบวงจรขยายแบบหนึ่งสเตจ (SINGLE-STATE)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 พารามิเตอร์ของสัญญาณรบกวน (NOISE PARAMETER)

พารามิเตอร์ของสัญญาณรบกวนโดยพื้นฐานประกอบด้วย 3 ส่วน ซึ่งจะอธิบายถึงคุณสมบัติของสัญญาณรบกวนที่เกิดในทรานซิสเตอร์กำลังต่ำ (LOW POWER TRANSISTER) ได้อย่างสมบูรณ์ คือ ค่าตัวเลขสัญญาณรบกวน (NOISE FIGURE : NF) ต่ำที่สุดที่ได้จากทรานซิสเตอร์ เรียกว่า F_{min} ค่าความต้านทานสมมูลแทนสัญญาณรบกวน (EQUIVALENT NOISE RESISTANCE) ของทรานซิสเตอร์ เรียกว่า R_n และสัมประสิทธิ์การสะท้อนสูงสุดของแหล่งกำเนิด เรียกว่า Γ_{opt} บางครั้งจะพิจารณาพารามิเตอร์ของสัญญาณรบกวน มีส่วนประกอบ 4 ส่วน เพราะ Γ_{opt} เป็นจำนวนเชิงซ้อน ประกอบด้วยส่วนของมุมและขนาด สำหรับ R_n บางที่จะถูกนอร์มอลไลซ์ จะแทนด้วย r_n คำนึง

$$r_n = \frac{R_n}{Z_o} \quad (3.45)$$

และค่า NF สามารถหาได้จากสมการ

$$NF = F_{min} + 4r_n \left\{ \frac{|\Gamma_s - \Gamma_{opt}|^2}{(1 - |\Gamma_s|^2)(1 + |\Gamma_{opt}|^2)} \right\} \quad (3.46)$$

เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณรบกวนทั้ง 3 สามารถหาค่า NF ของทรานซิสเตอร์ได้จากสมการดังกล่าว สำหรับเงื่อนไขของการไบแอสและความถี่ขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งกำเนิดที่มองจากทรานซิสเตอร์ ซึ่งก็คือ Γ_s

สำหรับการแมตช์ที่สัญญาณรบกวนต่ำ เราจะต้องพล็อตตำแหน่งและขนาดของวงกลมสัญญาณรบกวนซึ่งได้จากสมการต่อไปนี้

$$N_i = \frac{F_i - F_{min}}{4r_n} |1 + \Gamma_{opt}|^2 \quad (3.47)$$

$$R_F = \frac{\sqrt{N_i^2 + N_i(1 - |\Gamma_{opt}|^2)}}{1 + N_i} \quad (3.48)$$

$$C_F = \frac{\Gamma_{opt}}{1 + N_i} \quad (3.49)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ C_F คือ ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงกลมสัญญาณรบกวน

R_F คือ ขนาดของรัศมีของวงกลมสัญญาณรบกวน

F_i คือ ขนาดของตัวเลขสัญญาณรบกวน (Noise Figure) ที่ต้องการคำนวณหาตำแหน่งและขนาด

กรณีที่ $F_i = F_{\min}$ จะเห็นได้ว่า $N_i = 0$ แสดงว่าที่ F_{\min} รัศมีของวงกลมสัญญาณรบกวนจะเป็นศูนย์ และถ้า F_i เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ได้ค่าวงกลมสัญญาณรบกวนที่มีขนาดรัศมีเพิ่มมากขึ้นและมีจุดศูนย์กลางของวงกลมเปลี่ยนแปลงไป

3.5 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำโดยใช้สมิทชาร์ต

ลำดับขั้นตอนการออกแบบ คือ

1. ต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของ S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} , F_{\min} , Γ_{out} , R_n ของตัวอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้งานในย่านความถี่ที่ต้องการ
2. พล็อตวงกลมเสถียรภาพด้านอินพุตและเอาต์พุตลงบนสมิทชาร์ต แล้วพิจารณาจุดพื้นที่เสถียรภาพและไม่เสถียรภาพ
3. พล็อตวงกลมของอัตราขยายกำลังงานและวงกลมสัญญาณรบกวน แล้วเลือกจุดตัดหรือจุดสัมผัสของวงกลมทั้งสอง ที่ให้ค่าอัตราขยายกำลังงานที่สูงและให้ค่าสัญญาณรบกวนที่ต่ำ สิ่งที่สำคัญคือว่าจะต้องแน่ใจว่าตำแหน่งของจุดตัดหรือจุดสัมผัสนั้น ไม่ได้เข้าไปอยู่ในพื้นที่วงกลมเสถียรภาพด้านอินพุตและเอาต์พุต
4. เมื่อได้จุดตัดหรือจุดสัมผัสที่เหมาะสมแล้ว ก็จะทำการแมตช์อิมพีแดนซ์ทางด้านเอาต์พุตจากค่า Γ_L และแมตช์อิมพีแดนซ์ด้านอินพุตจาก Γ_S

3.6 สรุป

ภาครับสัญญาณในระบบสื่อสารโดยทั่วไปจะมีวงจรที่สำคัญมากอยู่หนึ่งวงจร คือ วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (Low Noise Amplifier : LNA) ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่รับมาจากสายอากาศให้มีความแรงของสัญญาณเพียงพอที่จะส่งไปยังภาคต่อไป โดยที่ในส่วนของตัวเองจะต้องทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (noise) ขึ้นมาน้อยที่สุดหรือไม่มีเลยในทางอุดมคติ เพื่อไม่ให้สัญญาณที่ได้ออกมาจากวงจรขยายมีสัญญาณรบกวนเพิ่มมากขึ้น

จุดประสงค์ในการออกแบบวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ คือ ให้อัตราขยายกำลังงานสูงสุดและมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด แต่ในทางปฏิบัติการออกแบบให้อัตราขยายกำลังงานสูงสุดและมีสัญญาณรบกวนต่ำสุดนั้น ไม่สามารถทำให้เกิดขึ้นได้ในเวลาเดียวกัน ดังนั้นในการออกแบบให้วงจรมีอัตราขยายกำลังงานสูงและมีสัญญาณรบกวนต่ำจะต้องเป็นข้อแลกเปลี่ยนกันไป คือ ถ้าต้องการวงจรที่มีอัตราขยายกำลังงานสูง ก็ต้องยอมรับกับค่าสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้นสูงตามไปด้วย และถ้าต้องการวงจรที่มีสัญญาณรบกวนต่ำ ก็ต้องยอมให้วงจรมีอัตราขยายลดลง ซึ่งในส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับความต้องการในการนำไปใช้งาน

ดังนั้น เงื่อนไขและทฤษฎีต่างๆ ที่ได้กล่าวในบทนี้จะถูกนำมาใช้ในการ ออกแบบวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำในส่วนต่อไป

บทที่ 4

การวิเคราะห์และการออกแบบ

4.1 กล่าวนำ

การวิเคราะห์และการออกแบบในโครงการนี้จะแบ่งลักษณะการปฏิบัติงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะทำการวิเคราะห์และออกแบบโดยใช้การคำนวณจากทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 และบทที่ 3 ส่วนที่สองจะเป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบในส่วนของการคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน ทำการเลียนแบบวงจร (Simulation) เพื่อปรับแต่งให้วงจรมีคุณภาพที่ดีที่สุด โดยโครงการนี้จะแบ่งการออกแบบออกเป็น 3 หัวข้อ ได้แก่

1.) แลวดำดับสายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อด้วยช่องเปิด เป็นการออกแบบสายอากาศชนิดแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่วางเป็นแถวลำดับขนาด 4×4 องค์ประกอบ และใช้การเชื่อมต่อสัญญาณด้วยช่องเปิดไปยังสายป้อนสัญญาณ

2.) วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ เป็นการออกแบบวงจรขยายสัญญาณขนาดเล็ก (Small signal) ที่ได้รับจากสายอากาศ โดยที่วงจรขยายนี้จะต้องไม่ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนเพิ่มขึ้นไปอีกหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นวงจรขยายที่มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นต่ำสุด

3.) การแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้วยตัวแปลงอิมพีแดนซ์หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น เป็นการออกแบบขนาดของตัวแปลงอิมพีแดนซ์ ที่จะใช้ในการแมตซ์อิมพีแดนซ์ของสายป้อนสัญญาณในแต่ละองค์ประกอบของสายอากาศเข้าด้วยกัน เพื่อให้เกิดการรวมตัวของสัญญาณได้ดีที่สุด

โดยงานทั้งหมดจะออกแบบที่ความถี่ 5.8 GHz เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจสอบช่องสัญญาณ (Channel sounder) ในระบบการสื่อสาร การสร้างจะรวมวงจรทั้งหมดไว้ในชุดเดียวกัน เพื่อให้งานมีขนาดเล็ก ประหยัดพื้นที่ สามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพตรงตามความมุ่งหมาย

4.2 การเลียนแบบวงจรแถวลำดับสายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อด้วยช่องเปิดที่มีความถี่

5.8 GHz

เนื่องจากการออกแบบสายอากาศและช่องเปิดที่ใช้ในการเชื่อมต่อสัญญาณ จะมีทฤษฎีและสมการที่ซับซ้อน ดังนั้นในการออกแบบจึงมีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพื่อให้ได้ผลออกมาดีที่สุด

4.2.1 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นสี่เหลี่ยม

จากทฤษฎีการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นสี่เหลี่ยมในบทที่ 2 โครงการนี้ต้องการที่จะนำสายอากาศไปใช้งานที่ความถี่ 5.8 GHz และใช้วัสดุฐานรอง (Epoxy) ที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก 3.7 และสูง $h = 1.51$ cm.

อาศัยสมการที่ (2.6) หาความกว้างของสายอากาศแผ่น จะมีค่าเท่ากับ

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 5.8 \times 10^9} \sqrt{\frac{2}{3.7+1}} = 16.87 \text{ mm.}$$

ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผลหาได้จากสมการที่ (2.1) จะได้

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{3.7+1}{2} + \frac{3.7-1}{2} \left[1 + 12 \frac{1.51 \times 10^{-3}}{16.87 \times 10^{-3}} \right]^{-1/2} = 3.287$$

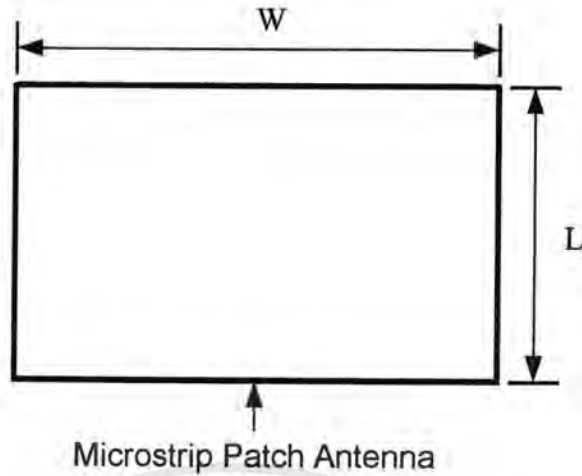
ความยาว ΔL ของสายอากาศแผ่นหาได้จากสมการที่ (2.2)

$$\begin{aligned} \Delta L &= 0.42 \times 1.51 \times 10^{-3} \frac{(3.287 + 0.3) \left(\frac{16.87}{1.51} + 0.264 \right)}{(3.287 - 0.258) \left(\frac{16.87}{1.51} + 0.8 \right)} \\ &= 0.704 \text{ mm.} \end{aligned}$$

ความยาวของสายอากาศแผ่นหาได้จากสมการที่ (2.7)

$$L = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 5.8 \times 10^9 \sqrt{3.287}} - 2 \times 0.704 \times 10^{-3} = 12.857 \text{ mm.}$$

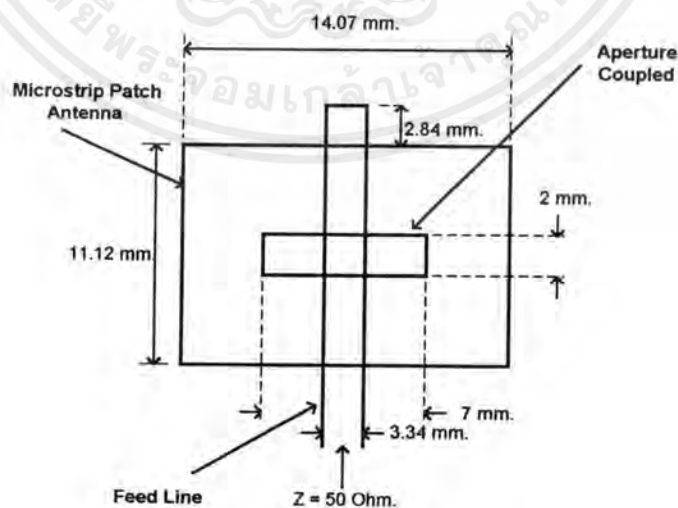
ดังนั้นขนาดของสายอากาศแผ่นดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สายอากาศแผ่นเดี่ยว (Single patch) ที่ขนาดกว้าง (W) เท่ากับ 16.87 mm.
ความยาว (L) เท่ากับ 12.857 mm.

4.2.2 การออกแบบสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่เชื่อมต่อกับช่องเปิด

การออกแบบในส่วนนี้จะใช้ขนาดของแผ่นสายอากาศที่ได้ทำการออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 4.2.1 มาคำนวณร่วมกับทฤษฎีการส่งผ่านสัญญาณด้วยช่องเปิด จากนั้นนำค่าของขนาดสายอากาศ แผ่น ช่องเปิด และสายป้อนสัญญาณ ไปสร้างในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเลียนแบบ (Simulate) ดูผลการตอบสนองของสายอากาศ จากการปรับแต่งในโปรแกรม เพื่อให้ได้ผลออกมาดีที่สุด จะได้ขนาดของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่เชื่อมต่อกับช่องเปิดดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ขนาดของสายอากาศไมโครสตริปแบบแผ่นที่เชื่อมต่อกับช่องเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตำแหน่งของช่องเปิดจะต้องอยู่ตรงจุดกึ่งกลางสายอากาศแผ่นจึงจะให้การเชื่อมต่อนิวเคลียสที่สูงสุดและส่วนของการสายป้อนสัญญาณจะต้องตัดผ่านช่องเปิดในตำแหน่งกึ่งกลางเช่นกัน ดังรูปที่ 4.2

4.2.3 การออกแบบแถวลำดับสายอากาศ

เนื่องจากสายอากาศไมโครสตริปมีข้อเสียในเรื่องของแบนด์วิดท์ที่แคบและมีกำลังสัญญาณที่รับได้ในระดับต่ำ จึงได้นำการทำสายอากาศแบบแถวลำดับมาใช้ ซึ่งจะช่วยให้มีแบนด์วิดท์ที่กว้างขึ้นและมีกำลังของสัญญาณรวมสูงขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้มีมีมิมิมวิทท์ที่แคบลงทำให้สายอากาศมีทิศทางในการแพร่กระจายคลื่นดีขึ้น

ในโครงการนี้เลือกใช้แถวลำดับสายอากาศขนาด 4×4 องค์ประกอบ หรือ 16 องค์ประกอบ คือ เรียงในแนวแกน x และ y อย่างละ 4 แถว โดยตำแหน่งของแต่ละองค์ประกอบจะมีระยะห่างเท่าใดนั้นเราจะใช้ทฤษฎีการลดพหุขั้วในการทำแถวลำดับหรือ AUPA ในหัวข้อที่ 2.4.2 ซึ่งระยะห่างในแนวแกน x ของแต่ละองค์ประกอบคือ d_E และระยะห่างในแนวแกน y ของแต่ละองค์ประกอบคือ d_B โดยจะวัดจากจุดกึ่งกลางของแต่ละองค์ประกอบ ดังนั้นจะได้

$$d_E = \frac{\lambda}{2m} = \frac{51.742 \times 10^{-3}}{8} = 6.46775 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$d_B = \frac{\lambda}{n} = \frac{51.742 \times 10^{-3}}{4} = 12.9355 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

เทียบค่า d_E และ d_B กับความยาว $\lambda = 51.742 \times 10^{-3} \text{ m.}$ จะได้

$$d_E = 0.125\lambda \quad (4.1)$$

$$d_B = 0.25\lambda \quad (4.2)$$

แต่ค่า d_E และ d_B ที่ได้นี้ไม่สามารถนำมาใช้งานจริงได้ เพราะขนาดของสายอากาศแผ่นมีขนาดใหญ่กว่าระยะห่างทั้งสอง ทำให้ต้องทำการออกแบบอีกครั้งด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรมสามารถใส่ค่าของจำนวนองค์ประกอบของแถวลำดับ ระยะ d_E , d_B และมุมของระนาบ H หรือระนาบ E เพื่อพล็อตผลของแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ในการออกแบบจึงได้ทดลองกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ลงไปจนได้ค่าเหมาะสมที่สุดคือ

$$d_E = 0.4\lambda \quad (4.3)$$

$$d_B = 0.55\lambda \quad (4.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะทำให้ได้รูปแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น ดังรูปที่ 4.4 สำหรับระนาบ E และรูปที่ 4.5 สำหรับระนาบ H

เมื่อแทนค่า $\lambda = 51.742 \times 10^{-3}$ m. ซึ่งเป็นค่าความยาวคลื่นในอากาศที่ความถี่ 5.8 GHz ลงในสมการที่ (4.3), (4.4) จะได้

$$d_E = 20.6968 \text{ mm.}$$

$$d_B = 28.4581 \text{ mm.}$$

นำค่า d_E และ d_B ไปหักลบออกด้วยระยะจากขอบของสายอากาศแผ่นถึงจุดกึ่งกลาง จะได้

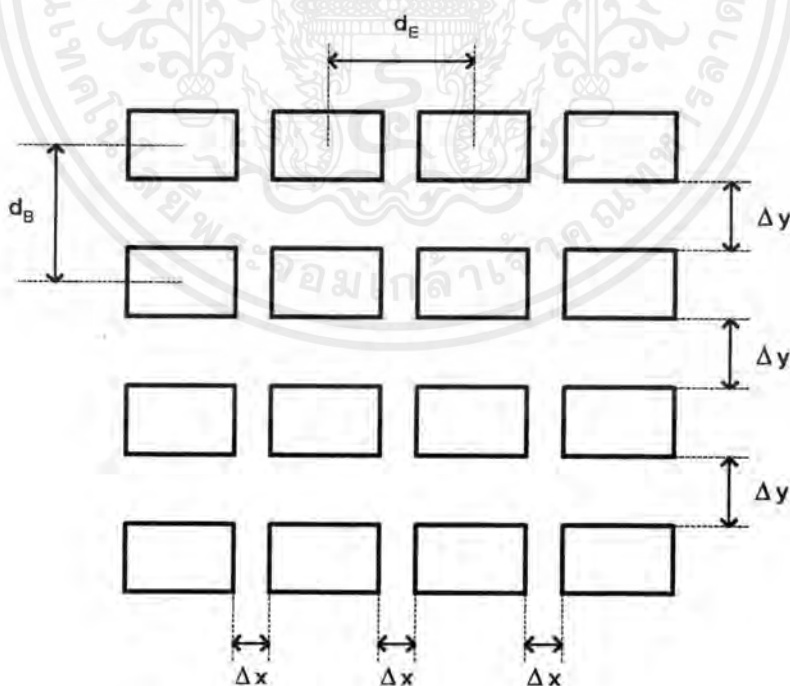
$$\Delta x = 6.627 \text{ mm.}$$

$$\Delta y = 17.338 \text{ mm.}$$

โดยที่ Δx คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศแผ่นเมื่อวัดจากขอบสายอากาศในแนวแกน x

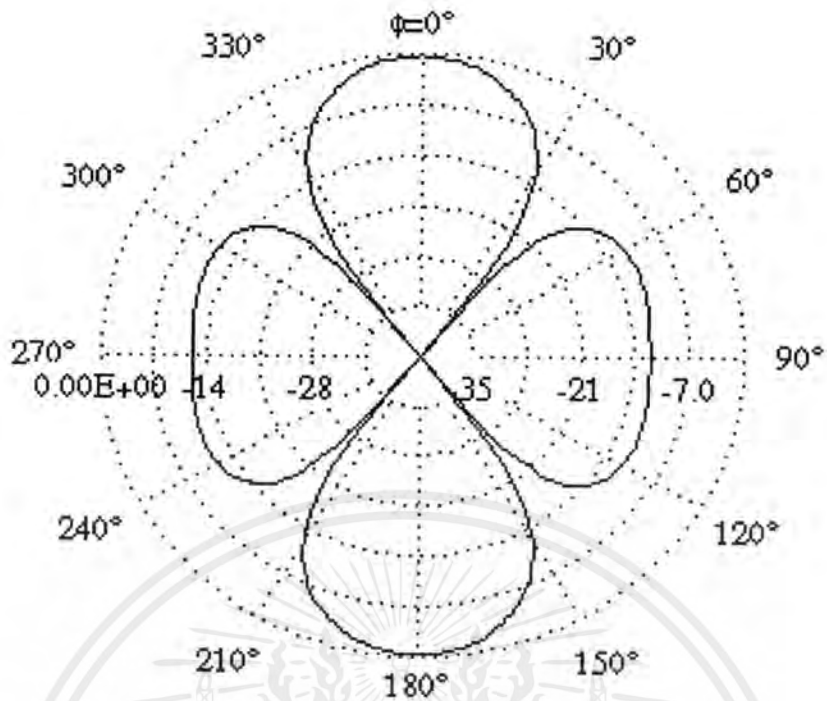
Δy คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศแผ่นเมื่อวัดจากขอบสายอากาศในแนวแกน y

ดังนั้นจะได้รูปแบบของสายอากาศแผ่นแถวลำดับขนาด 4x4 องค์ประกอบ ดังรูปที่ 4.3

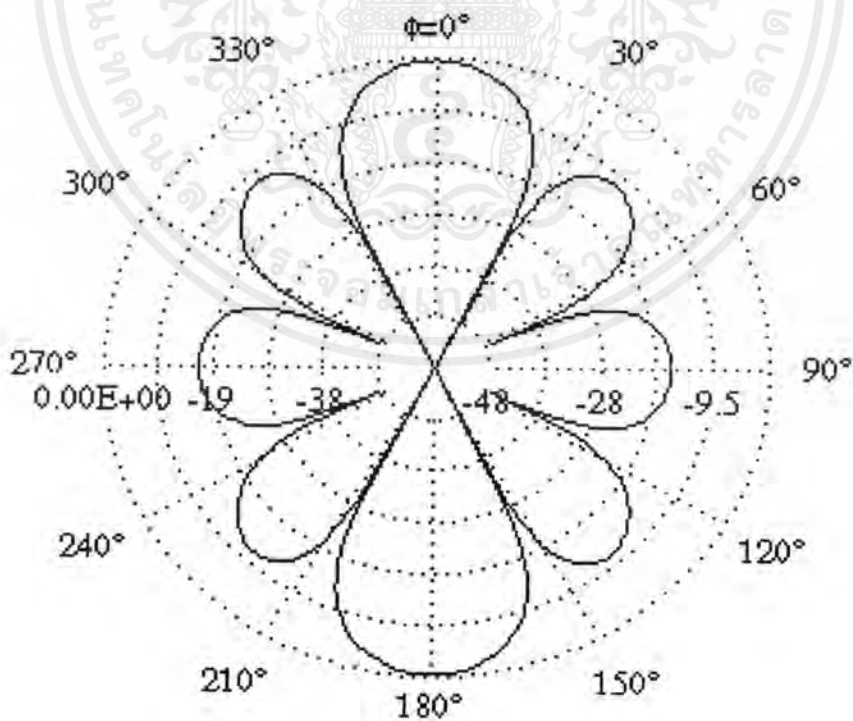


รูปที่ 4.3 ตำแหน่งและระยะการวางสายอากาศแผ่นแบบแถวลำดับขนาด 4x4 องค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ E เฉพาะอาร์เรย์แฟคเตอร์



รูปที่ 4.5 กราฟแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นในระนาบ H เฉพาะอาร์เรย์แฟคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ (LNA) ที่ความถี่ 5.8 GHz

โดยใช้สมิธชาร์ต

สิ่งแรกที่จะต้องทำก่อนการออกแบบวงจร คือ การกำหนดคุณสมบัติของวงจรที่เราต้องการ ซึ่งในโครงการนี้ จะกำหนดคุณสมบัติของวงจรที่ต้องการออกแบบดังต่อไปนี้

Frequency : 5.8 GHz

Gain : 12 dB

Noise Figure : 1.2 dB

Bias Current : 10 mA

ขั้นตอนการออกแบบ

1.) เลือกใช้ GaAs MESFET เบอร์ MGF4314D ไบอัสที่ $V_{DS}=2V$, $I_D=10mA$. เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ โดยที่ความถี่ 5.8 GHz MESFET เบอร์นี้จะมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

$$S_{11} = 0.786 \angle -111.8^\circ$$

$$G_{max} = 16.94 \text{ dB.}$$

$$S_{21} = 3.754 \angle 78^\circ$$

$$F_{min} = 0.5163 \text{ dB.}$$

$$S_{12} = 0.076 \angle 20.2^\circ$$

$$\Gamma_{opt} = 0.5644 \angle 100.9^\circ$$

$$S_{22} = 0.380 \angle -87.8^\circ$$

$$R_n = 9.5$$

คำนวณหาค่า k จาก สมการที่ (3.3)

$$k = \frac{1 - (0.786)^2 - (0.38)^2 + (0.301)^2}{2(0.2853)}$$

$$k = 0.5755$$

พิจารณาค่า $k < 1$ จะหาค่า G_{ms} จาก สมการ $G_{ms} = 10 \log \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}$

$$G_{ms} = 10 \log (49.3947)$$

$$= 16.94 \text{ dB.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) คำนวณหาขนาดกราฟวงกลมเสถียรภาพด้านอินพุตและเอาต์พุต เพื่อหาพื้นที่ที่ควรหลีกเลี่ยงในการออกแบบ โดยขนาดของกราฟวงกลมเสถียรภาพด้านอินพุตหาได้จากสมการ (3.11), (3.12)

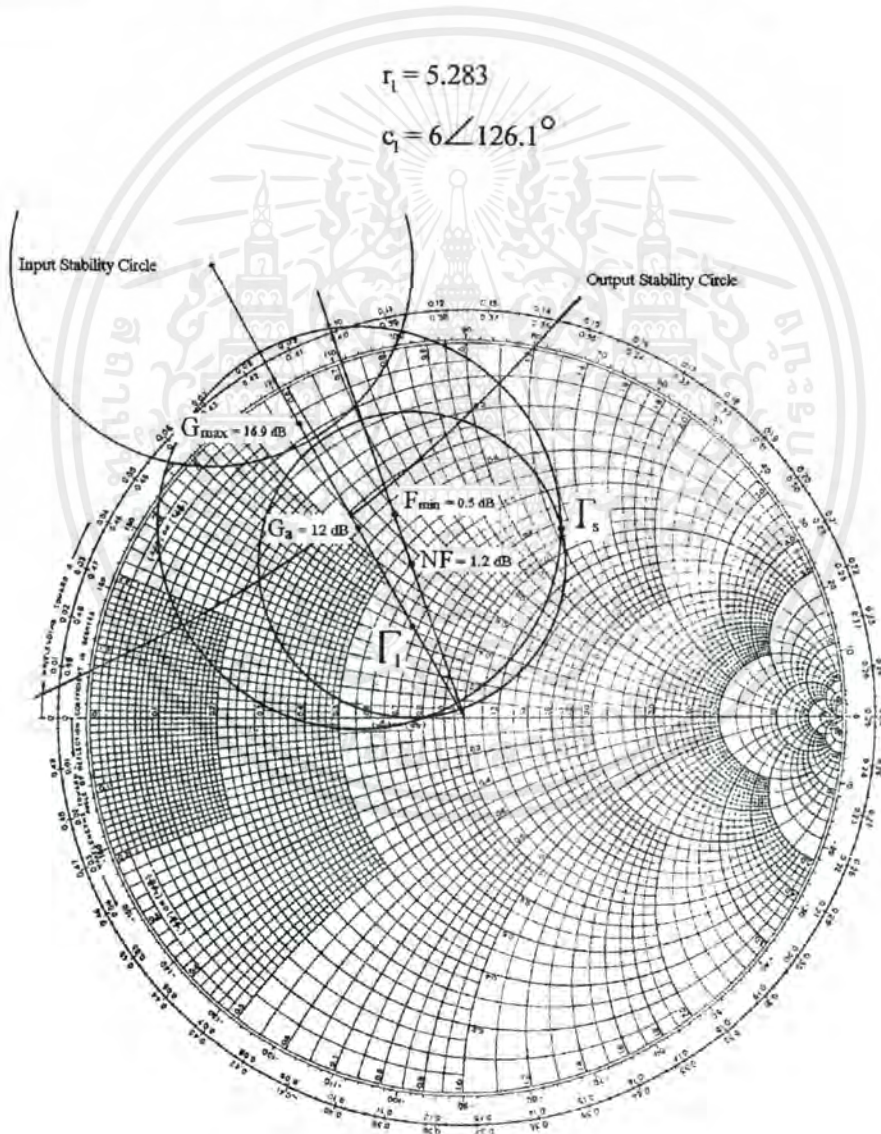
$$r_s = 0.541$$

$$c_s = 1.39 \angle 119.43^\circ$$

และขนาดของวงกลมเสถียรภาพด้านเอาต์พุต หาจากสมการที่ (3.13), (3.14)

$$r_l = 5.283$$

$$c_l = 6 \angle 126.1^\circ$$



รูปที่ 4.6 การพล็อตวงกลมเสถียรภาพ, อัตราขยายและสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) คำนวณหาขนาดกราฟวงกลมอัตราขยายกำลังงานที่ใช้งาน (Available Power Gain)

ในการออกแบบจะต้องกำหนดค่าอัตราขยายกำลังงานที่ต้องการ เพื่อใช้ในการคำนวณ แต่จะต้องไม่เกินค่าอัตราขยายกำลังงานสูงสุด ที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 1.) ขนาดของวงกลมอัตราขยายกำลังงานที่ใช้งาน คำนวณได้จากสมการที่ (3.43), (3.44) ในโครงงานนี้เลือกอัตราขยายที่ 12 dB. จะได้

$$R_u = 0.538$$

$$C_u = 0.518c \angle 119.43^\circ$$

4.) คำนวณหาขนาดกราฟวงกลมของสัญญาณรบกวน (Noise Circle)

กำหนดค่าของสัญญาณรบกวนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในวงจร โดยจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่าสัญญาณรบกวนต่ำสุดที่เกิดจากการทำงานในตัว MESFET จากนั้นนำค่าที่กำหนดไปคำนวณในสมการที่ (3.48), (3.49) เพื่อหาขนาดวงกลมของสัญญาณรบกวน ในโครงงานนี้เลือกออกแบบที่ค่าสัญญาณรบกวน 1.2 dB จะได้

$$R_F = 0.405$$

$$C_F = 0.441 \angle 100.9^\circ$$

5.) นำค่าที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอนที่ 2, 3, 4 มาพล็อตลงบนสมิทชาร์ต (Smith Chart) ดังรูปที่ 4.6 ประกอบแล้วพิจารณากราฟดังต่อไปนี้

5.1) หาตำแหน่งที่กราฟของวงกลมอัตราขยายกำลังงานที่ใช้งาน ตัดกับวงกลมสัญญาณรบกวน ถ้าไม่มีจุดตัดกันเลยของกราฟทั้งสองวง จะต้องทำการคำนวณหาค่ากราฟวงกลมอัตราขยายกำลังงานหรือกราฟวงกลมสัญญาณรบกวนใหม่ ตามขั้นตอนที่ 3, 4 โดยอาจจะให้ค่าใดค่าหนึ่งคงที่ไว้ แล้วคำนวณหาเพียงค่าเดียว

หมายเหตุ

- กราฟวงกลมอัตราขยายกำลังงานจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ถ้ากำหนดให้ค่าอัตราขยายกำลังงานที่ต้องการลดลงจากค่าเดิม

- กราฟวงกลมของสัญญาณรบกวนจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ถ้ากำหนดให้ค่าสัญญาณรบกวนที่ยอมให้เกิดขึ้นในวงจรมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าเดิม

5.2) เมื่อได้ตำแหน่งที่กราฟวงกลมทั้งสองตัดกันแล้ว ให้ดูว่าตรงตำแหน่งที่ตัดกันนั้น อยู่ในพื้นที่ของวงกลมเสถียรภาพอินพุทหรือเอาต์พุทหรือไม่ ถ้าปรากฏว่าอยู่ในพื้นที่วงกลมเสถียรภาพนั้น จะทำให้จุดตัดตำแหน่งนั้น ไม่สามารถใช้ในการคำนวณออกแบบการแมตซ์ซิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมพีแดนซ์ ของวงจรขยายได้ จะต้องย้อนกลับไปทำการกำหนดค่าออกแบบใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3, 4, 5 ตามลำดับ แต่ถ้าตำแหน่งที่ตัดกันของกราฟวงกลมทั้งสองนั้น ไม่ได้อยู่ในพื้นที่ของวงกลมเสถียรภาพ ณ ตำแหน่งนั้นจะสามารถนำมาใช้ในการออกแบบวงจรขยายต่อไป โดยกำหนดให้เป็นจุด Γ_s ในโครงการนี้จะใช้ค่า $\Gamma_s = 0.56 \angle 63^\circ$ จากนั้นใช้สมการที่ (3.7), (3.8)

$$\Delta = 0.301 \angle -141.65^\circ$$

$$\Gamma_1 = 0.275 \angle 119.8^\circ$$

พล็อตตำแหน่งของ Γ_s และ Γ_1 ลงบนสมิทชาร์ต

หมายเหตุ การเลือกจุด Γ_s และ Γ_1 จะมีผลต่อความยาวของไมโครสตริปที่ใช้ในการแมตช์อิมพีแดนซ์ของวงจรขยาย ดังนั้น การตัดกันของกราฟวงกลมทั้งสองวงจะมีจุดตัดเกิดขึ้น 2 จุด จะต้องพิจารณาอย่างคร่าวๆ ก่อนเลือกจะใช้จุดใด และควรเลือกจุดที่อยู่ห่างจากวงกลมเสถียรภาพด้านอินพุตและเอาต์พุต เพื่อป้องกันการเกิดการออสซิลเลตของวงจร

6.) ออกแบบการแมตช์อิมพีแดนซ์วงจรขยายจากสมิทชาร์ต

6.1) นำค่า Γ_s และ Γ_1 มาทำอินเวอร์สคือ กลับมุมจากเดิมไป 180° หรือ ลบจากค่ามุมเดิม 180° จะได้

$$\Gamma'_s = 0.56 \angle -117^\circ$$

$$\Gamma'_1 = 0.275 \angle -60.2^\circ$$

ลากเส้นจากจุดศูนย์กลางสมิทชาร์ตผ่านจุด Γ'_s และ Γ'_1 ออกไปตัดกับเส้นขอบวงกลมของสมิทชาร์ต

6.2) หาขนาดชุดแมตช์อิมพีแดนซ์ด้านอินพุต จากตำแหน่ง Γ'_s โดยใช้วงเวียนทางรัศมีเท่ากับระยะจากจุดศูนย์กลางของสมิทชาร์ตถึงจุด Γ'_s ใช้ จุดศูนย์กลางของสมิทชาร์ตเป็นจุดหมุน หมุนวงเวียนจากจุด Γ'_s ไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ให้ตัดกับวงกลมค่าความต้านทาน = 1 (normalize ที่ 50Ω) ให้ตำแหน่งที่เกิดจุดตัดเป็นจุด A ลากเส้นจากจุดศูนย์กลางของสมิทชาร์ตผ่านจุด A ไปตัดกับเส้นขอบวงกลมของสมิทชาร์ต แล้วหาระยะทางจากจุด Γ'_s ถึงจุด A โดยดูที่ขอบสเกลค่าความยาวคลื่น (wavelength toward generator) ซึ่งเป็นค่าที่เทียบกับความยาวคลื่นในไมโครสตริป ค่าความยาวที่ได้ตรงส่วนนี้จะเป็นค่าความยาวของไมโครสตริป จากนั้นหาความยาวของสแต็ปแบบเปิด (open stub) โดยดูที่จุด A ว่าเส้นกราฟของค่าคาปาซิแตนซ์หรืออินดักแตนซ์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดผ่านมีค่าเท่าใด แล้วลากเส้นจากจุดศูนย์กลางของสมิธชาร์ตให้ไปตัดที่ตำแหน่งที่เส้นกราฟของค่าคาปาซิแตนซ์หรืออินดักแตนซ์มีค่าจริงเป็นศูนย์ หรือที่ตำแหน่งขอบวงกลมของสมิธชาร์ต ค่าจากสเกลของ ความยาวคลื่น (wavelength toward generator) จะได้ค่าความยาวของสตัปแบบเปิดที่เทียบกับความยาวคลื่น โดยความยาวคลื่นในไมโครสตริปจะเท่ากับ 29.45 mm.

ดังนั้น จะ ได้ความยาวของชุดแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้านอินพุท คือ

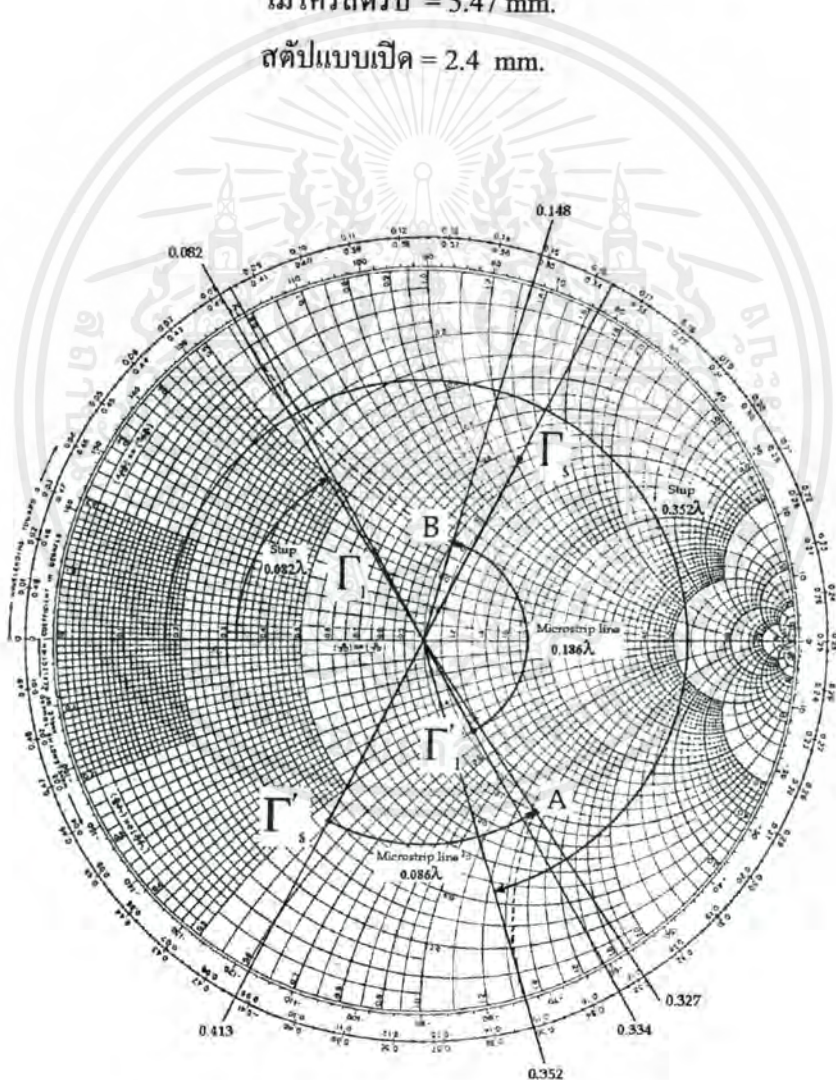
$$\text{ไมโครสตริป} = 2.5 \text{ mm.}$$

$$\text{สตัปแบบเปิด} = 10.3 \text{ mm.}$$

6.3) หาขนาดชุดแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้านเอาต์พุทจากตำแหน่ง Γ' จะมีขั้นตอนแบบเดียวกับ การหาด้านอินพุท ดังนั้น จะ ได้ความยาวชุดแมตซ์อิมพีแดนซ์ด้านเอาต์พุท คือ

$$\text{ไมโครสตริป} = 5.47 \text{ mm.}$$

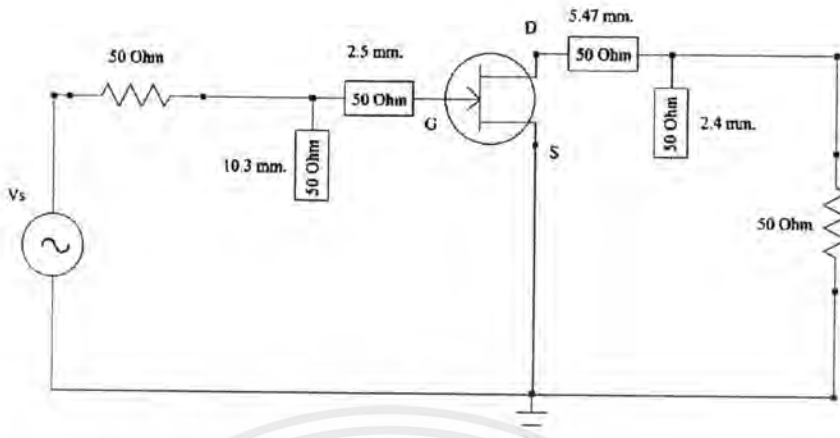
$$\text{สตัปแบบเปิด} = 2.4 \text{ mm.}$$



รูปที่ 4.7 การแมตซ์อิมพีแดนซ์ของวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

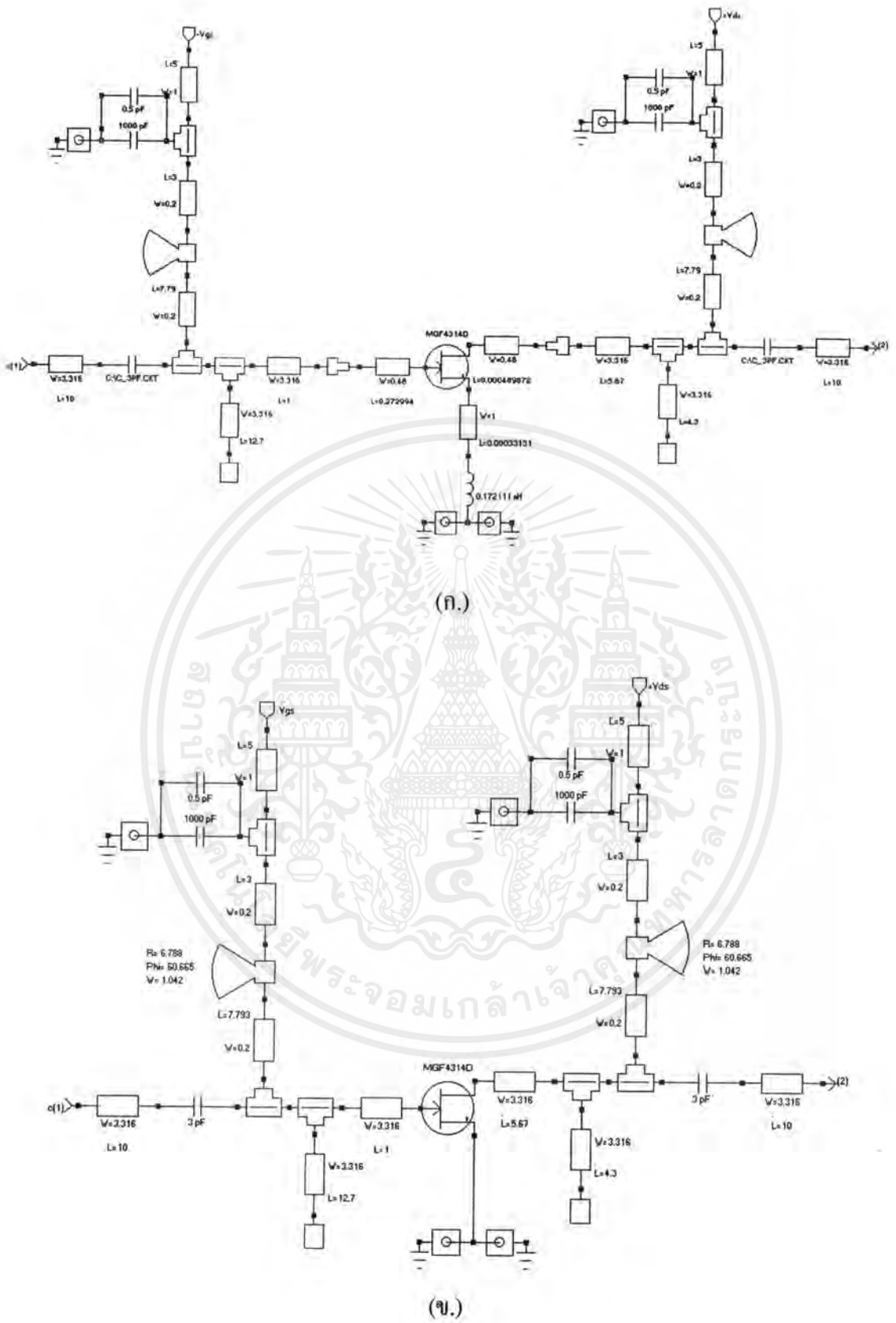
7.) ลักษณะวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ ที่ประกอบชุดแมตซ์อิมพีแดนซ์



รูปที่ 4.8 การแมตซ์วงจรขยายด้วยสายไมโครสตริปและสายท่อสั้นปลายเปิด

8.) นำค่าขนาดขององค์ประกอบต่างๆ ของวงจรมาทำการเลียนแบบ (Simulation) ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์งานด้านไมโครเวฟโดยเฉพาะ เพื่อดูผลตอบแทนของวงจรว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการหรือไม่ และจากการออกแบบพบว่า ผลจากการคำนวณในครั้งแรกยังไม่ใช่ผลที่ดีที่สุด จำเป็นต้องทดลองสร้างวงจรจริงขึ้นมาเพื่อวัดผลกระทบต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นได้ แล้วนำค่าเหล่านั้นมาปรับปรุงงานอีกครั้ง

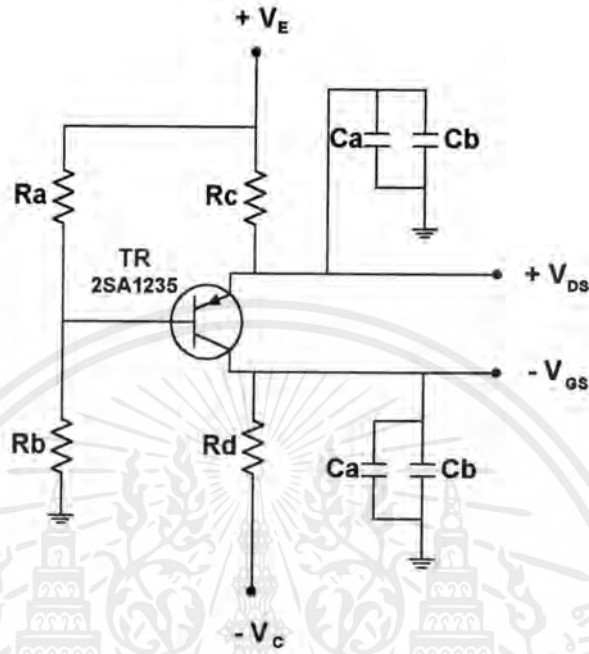
9.) หลังจากได้ทำการปรับปรุงหาจุดการทำงานที่ดีที่สุด จะได้วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ ที่ใช้งานที่ความถี่ 5.8 GHz ดังรูปที่ 4.9 (ก.) ซึ่งแสดงถึงวงจรที่มีการนำเอาค่าพาราซิติค (Parasitic) มาคิดด้วย ดังนั้นในการสร้างลายวงจรจะต้องตัดส่วนของค่าพาราซิติคออกโดยจะมีรูปวงจрдังรูป 4.9 (ข.) จะเห็นว่ามีส่วนที่ถูกเพิ่มเติมเข้าไปเช่น คาปาซิเตอร์ ทางด้านอินพุต และเอาท์พุต จะถูกใช้เพื่อป้องกันไฟตรงจากภายนอก และด้านบนของวงจรจะมีชุดกรองความถี่สูง (High Pass Filter) ทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณความถี่สูงภายในวงจรออกไปรบกวนภาคจ่ายไฟ โดยมีสายหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น ที่มีอิมพีแดนซ์สูงมาก เมื่อเทียบกับอิมพีแดนซ์ในวงจร ทำหน้าที่กันไม่ให้ความถี่เดินทางไปยังชุดจ่ายไฟ และมี สตับรูปพัด (Radial Stub) และ คาปาซิเตอร์ค่า 1000 pF กับ 0.5 pF. คอยกรองเอาความถี่สูงลงกราวด์อีกชั้น



รูปที่ 4.9 วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำที่ใช้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรจ่ายไฟตรง (DC Bias circuits) ก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการทำงานของวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ เพราะต้องทำหน้าที่จ่ายไฟบวก ลบและกราวด์ ไปเลี้ยงให้กับ MESFET โดยวงจรที่ใช้ในโครงการนี้จะมีลักษณะดังรูปที่ 4.10

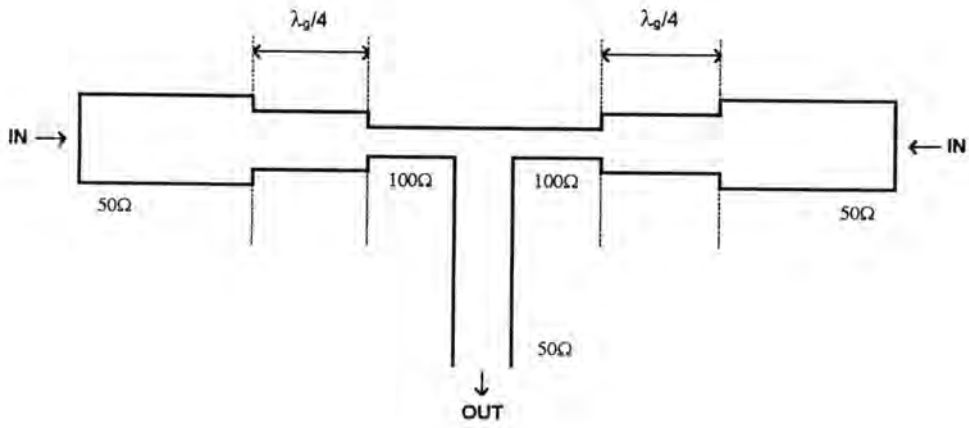


รูปที่ 4.10 วงจรจ่ายไฟตรงให้กับวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ

โดยที่ $R_a = 1 \text{ k}\Omega$, $R_b = 415\Omega$, $R_c = 100\Omega$, $R_d = 335\Omega$, $C_a = 1000 \text{ pF}$, $C_b = 0.5 \text{ pF}$,
 $V_E = +5V_{dc}$, $V_C = -5V_{dc}$, $TR = 2SA1235$, $+V_{DS} = 2V$, $-V_{GS} = -0.3V$

4.4 การออกแบบวงจรรวมสัญญาณ

การออกแบบวงจรรวมสัญญาณ จะใช้ตัวแปลงอิมพีแดนซ์หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่นเป็นตัวปรับให้อิมพีแดนซ์ของสายป้อนสัญญาณ 50 โอห์ม แต่ละจุดสามารถต่อรวมกันได้ พิจารณา ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การรวมสัญญาณแบบเข้า 2 ออก 1

(2.26) ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวแปลงอิมพีแดนซ์หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น จะหาได้จากสมการที่

$$Z_o = \sqrt{100 \times 50} = 70.7\Omega$$

ส่วนค่า λ_g ซึ่งเป็นความยาวคลื่นในสายไมโครสตริปจะขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งาน

$$\lambda_g = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (4.5)$$

โดยที่ c คือ ความเร็วของคลื่นในอากาศ (3×10^8 m./Sec)

f คือ ความถี่ที่ใช้งาน

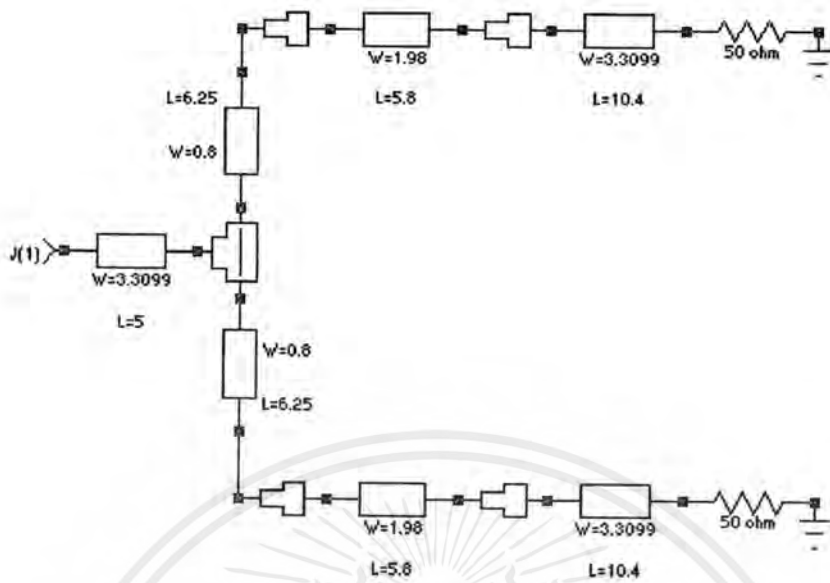
ϵ_{reff} คือ ค่าไดอิเล็กตริกประสิทธิผล หาได้จากสมการที่ (2.1)

$$\lambda_g = \frac{3 \times 10^8}{5.8 \times 10^9} \times \frac{1}{\sqrt{2.88}} = 30.479 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

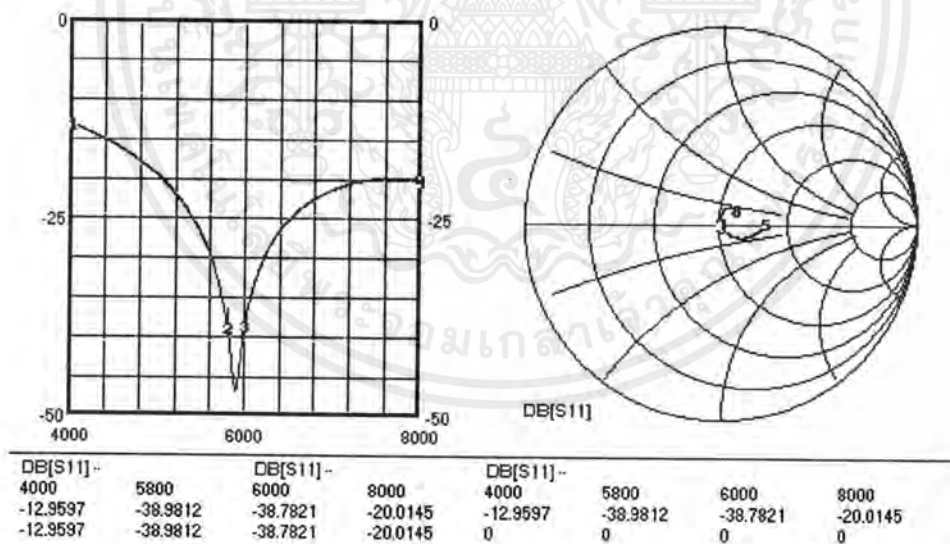
ดังนั้น $\lambda_g / 4 = 7.62 \times 10^{-3} \text{ m.}$

จากค่าที่ได้ในการคำนวณ จะนำไปเขียนแบบวงจรในโปรแกรม เพื่อคูณ S พารามิเตอร์ ว่าอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้งานได้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



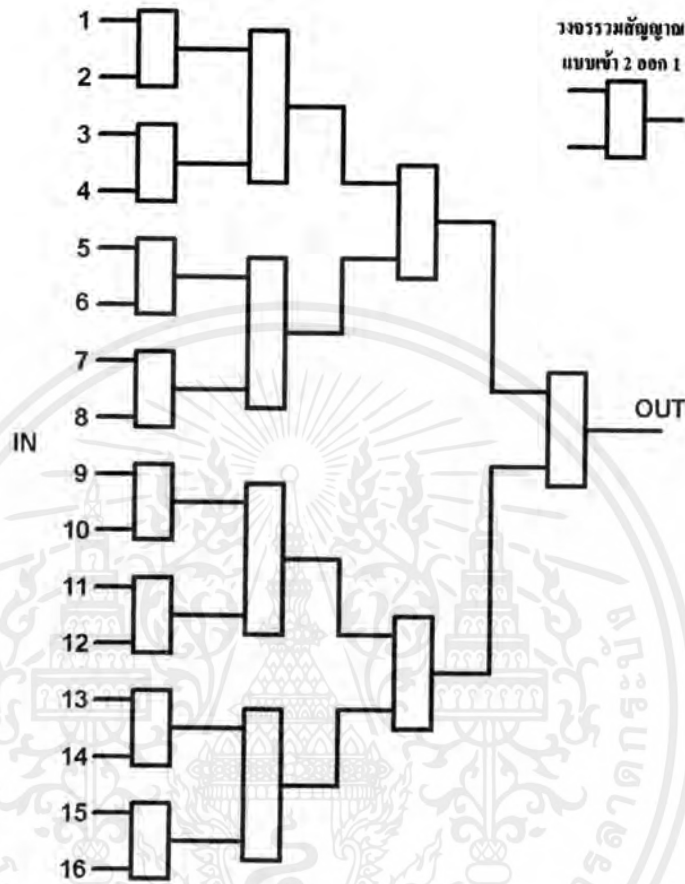
รูปที่ 4.12 วงจรที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการเลียนแบบ (Simulate)



รูปที่ 4.13 ผลจากการทดสอบในวงจรรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่จากวงจรที่เราต้องการใช้งานสายป้อนสัญญาณมีถึง 16 เส้น จากสายอากาศ 4×4 องค์ประกอบ ดังนั้นเราจะต้องใช้วงจรรวมสัญญาณ เพื่อรวมสัญญาณจากสายป้อนที่ถูกรวมกัน ให้เหลือเป็นหนึ่ง แล้วนำผลรวมของแต่ละคู่มารวมกันต่อเป็นแบบลำดับไป ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 วงจรรวมสัญญาณขนาด 16 องค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ขั้นตอนการสร้าง

เนื่องจากวงจรที่ใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟ สัญญาณหรือคลื่นจะเดินทางไปบนพื้นผิวของวัสดุตัวนำ ดังนั้นในการสร้างสายวงจรจะต้องใช้ความพิถีพิถันในเรื่องขนาดของลายวงจรทุกจุด เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ภายในวงจร

4.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้าง

1. MESFET เบอร์ MGF 4314D 1 ตัว
2. ทรานซิสเตอร์ เบอร์ 2SA1235 1 ตัว
3. ตัวเก็บประจุ ค่า 3 pF. 1 ตัว, ค่า 1000 pF. 2 ตัว, ค่า 0.5 pF. 2 ตัว
4. ตัวความต้านทาน ค่า 50 Ω 4 ตัว, ค่า 100 Ω 1 ตัว, ค่า 330 Ω 1 ตัว, ค่า 390 Ω 1 ตัว, ค่า 1 k Ω 1 ตัว
5. คอนเนคเตอร์ SMA
6. แผ่นวงจรพิมพ์แบบอีพ็อกซี่ (Epoxy)
7. กรดกัดแผ่นปริ้นท์
8. อะซิโตน (Acetone) หรือแอลกอฮอล์
9. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
10. แผ่นครายฟิล์ม (Dry Film)
11. หลอดไฟ 100 วัตต์ (หลอดไส้แบบใส)
12. เตารีด
13. ผ้าหรือกระดาษหนาๆ

4.5.2 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงาน

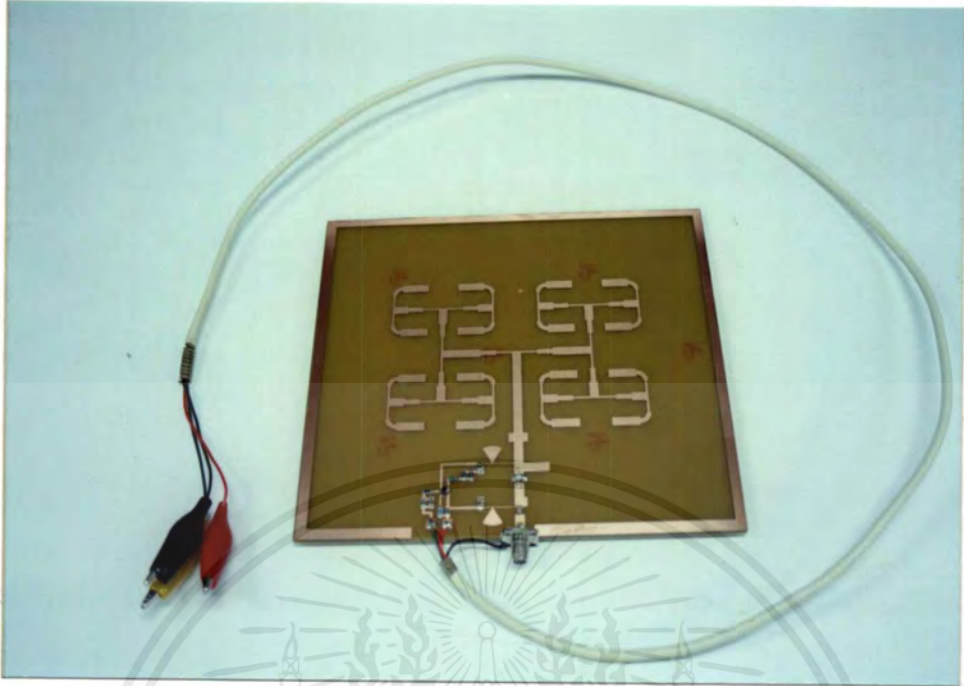
1. นำค่าของขนาดวงจรในส่วนต่างๆ ไปสร้างลายวงจรโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ รูปของลายวงจรเท่าขนาดจริงสามารถเปิดดูได้ที่ภาคผนวก ก.
2. สร้างวงจรลงบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้าชนิด อีพ็อกซี่ (EPOXY) โดยใช้เทคนิคของครายฟิล์ม ซึ่งสามารถดูได้จาก หัวข้อ ขั้นตอนการสร้าง ในบทที่ 4 ของปริญญาานิพนธ์เรื่อง วงจรขยายสัญญาณความถี่สูงและสัญญาณรบกวนต่ำ ปีการศึกษา 2541 ในการทำจะใช้แผ่นวงจรพิมพ์ 2 แผ่น คือ ส่วนของสายอากาศไมโครสตริปแผ่นที่เคลือบผิวด้านบนแบบแถวลำดับขนาด 4×4 องค์กรประกอบ จะสร้างลงบนแผ่นวงจรด้านหนึ่ง และอีกด้านจะกัดเอาทองแดงออกทั้งหมด ส่วนช่องเปิดจะสร้างบนระนาบกรวดซ์ของแผ่นวงจรอีกแผ่น และด้านหลังของระนาบกรวดซ์จะเป็นวงจรรวมสัญญาณจากสายป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

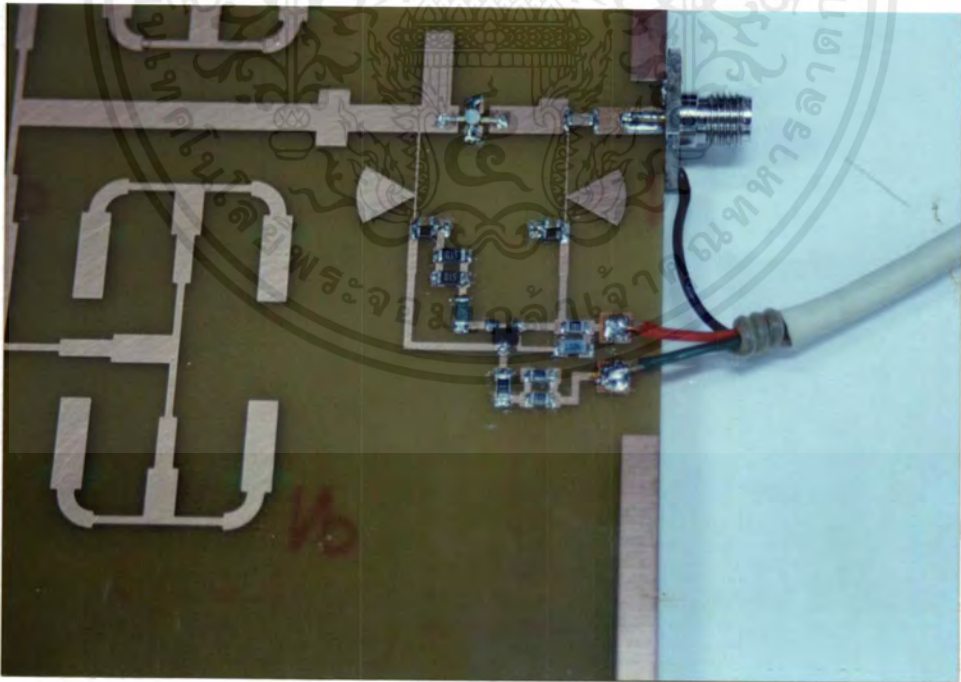
- ที่ต่อร่วมกับวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ โดยต้องวางให้ตำแหน่งของสายป้อนและช่องเปิดตรงกับจุดกึ่งกลางสายอากาศแผ่นในแต่ละองค์ประกอบเมื่อนำมาซ้อนทับกัน
3. ตรวจสอบความเรียบร้อยของลายวงจรที่ได้ จะต้องมีความหนาเท่ากับที่ได้ทำการออกแบบไว้และมีความคมชัดของลายวงจรมากที่สุด
 4. ลงอุปกรณ์ในส่วนของวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ โดยใช้หัวแร้งที่สามารถปรับความร้อนได้หรือใช้หัวแร้งที่มีกำลังงานต่ำ และใช้เวลาในการบัดกรีให้น้อยที่สุด เพราะอุปกรณ์บางตัว ไม่สามารถทนความร้อนสูงได้
 5. ประกอบแผ่นวงจรทั้งสองส่วนเข้าด้วยกันจะได้ชิ้นงานที่สำเร็จพร้อมนำไปใช้ในการทดลองดังรูปที่ 4.15, 4.16, 4.17



รูปที่ 4.15 ลักษณะของชิ้นงานด้านหน้า



รูปที่ 4.16 ลักษณะของชิ้นงานด้านหลัง



รูปที่ 4.17 วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำและชุดจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 สรุป

จากการวิเคราะห์และออกแบบ จะได้สายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบแถว-ลำดับขนาด 4×4 องค์ประกอบ ที่มีบีมวิทท์ที่แคบประมาณ 30° และมีแบนด์วิทท์ที่กว้างขึ้น สามารถนำมาใช้ร่วมกับการเชื่อมต่อสัญญาณโดยผ่านช่องเปิดได้ ส่วนวงจรถวายสัญญาณรบกวนต่ำที่ออกแบบ จะมีอัตราขยายที่ 10 dB และมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นประมาณ 1.3 dB วงจรทั้งหมดได้ถูกสร้างขึ้นตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้ว เพื่อนำไปใช้ในการวัดและทดสอบคุณสมบัติของวงจรในบทต่อไป



บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

การออกแบบและสร้างแอมพลีฟายเออร์สายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อด้วยช่องเปิดแบบแอกทิฟ ในบทที่แล้ว ยังไม่สามารถสรุปถึงผลตอบสนองของการทำงานที่แท้จริงได้ เพราะการออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบจะถูกกำหนดให้คงที่และเป็นค่าทางอุดมคติ แต่ในความเป็นจริงค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นมิได้คงที่เสมอไป เพราะความไม่แน่นอนของวัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้สร้างและสภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆ ณ จุดนั้นจะมีผลต่อการทำงานของวงจรเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นในบทที่ 5 นี้จะเป็นการนำชิ้นงานที่ได้สร้าง มาทำการทดลองวัดหาผลการทำงานที่แท้จริงของงาน และเปรียบเทียบกับผลจากการออกแบบในทางทฤษฎี เพื่อใช้เป็นข้อมูลสรุปในส่วนต่อไป

การทดลองจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. การวัดผลการตอบสนองต่อความถี่ของสายอากาศแบบพาสซีฟ
2. การวัดผลการทำงานของวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ
3. การวัดผลการทำงานเมื่อรวมวงจรขยายและสายอากาศเข้าด้วยกัน

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. Network Analyzer
2. Series Synthesized Sweeper
3. Spectrum Analyzer
4. Supply $\pm 5 V_{DC}$

5.2 การวัดผลการตอบสนองต่อความถี่ของสายอากาศ

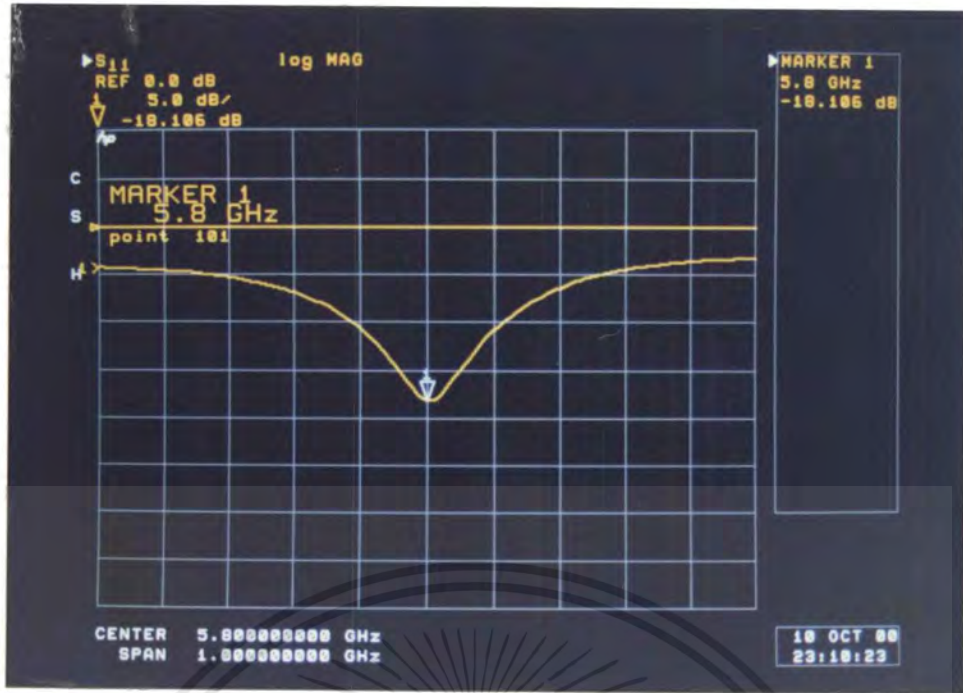
การทดลองในขั้นตอนนี้ จะใช้เครื่อง Network Analyzer ทำการวัดหาผลตอบสนองของสายอากาศในช่วงความถี่ที่ต้องการ เพื่อดูว่าตรงกับที่ได้ทำการออกแบบไว้หรือไม่ โดยพิจารณาจากค่า S_{11} ของสายอากาศ ซึ่งในการออกแบบ ก่อนที่จะจัดสายอากาศเป็นแอมพลีฟายเออร์จะต้องทำการวัดผลตอบสนองของสายอากาศแบบแผ่นเดี่ยวก่อน เพื่อปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้ที่ความถี่ 5.8 GHz ดังนั้น ในขั้นแรกจะทำการวัดสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเดี่ยวก่อน

5.2.1 การวัดสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเดี่ยว

ในการวัดจะนำสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเดี่ยวมาต่อเข้ากับสายวัดสัญญาณข้างหนึ่งของ Network Analyzer แล้วเลือกโหมดการวัดแบบหนึ่งพอร์ต ตั้งค่าช่วงความถี่ที่ต้องการวัดทดสอบ วัดดูผลของค่า S_{11} ซึ่งจะได้ผลดังนี้

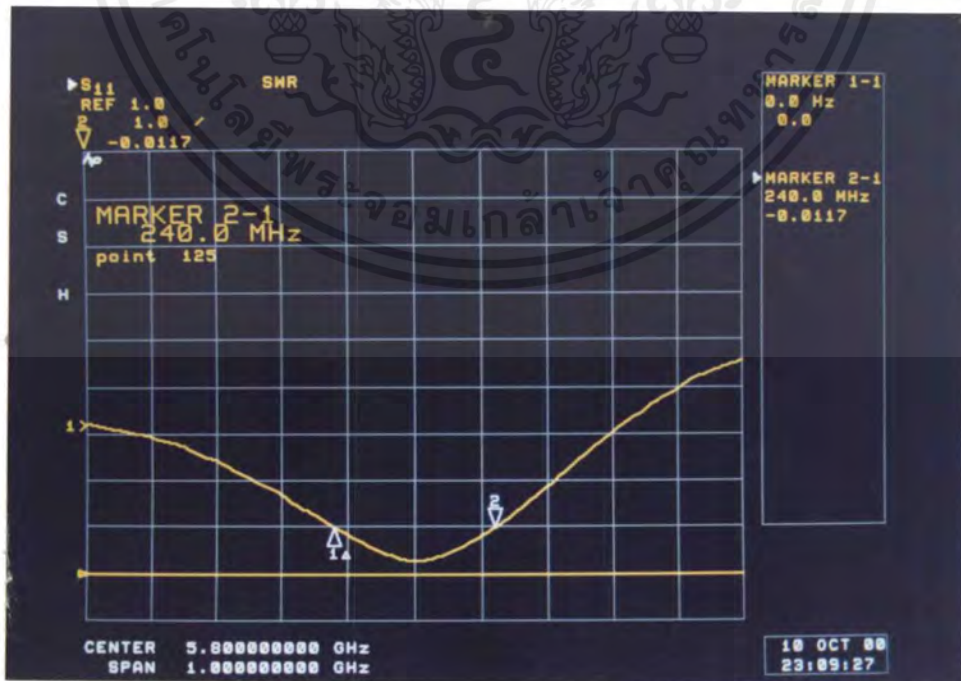


รูปที่ 5.1 สายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเดี่ยว



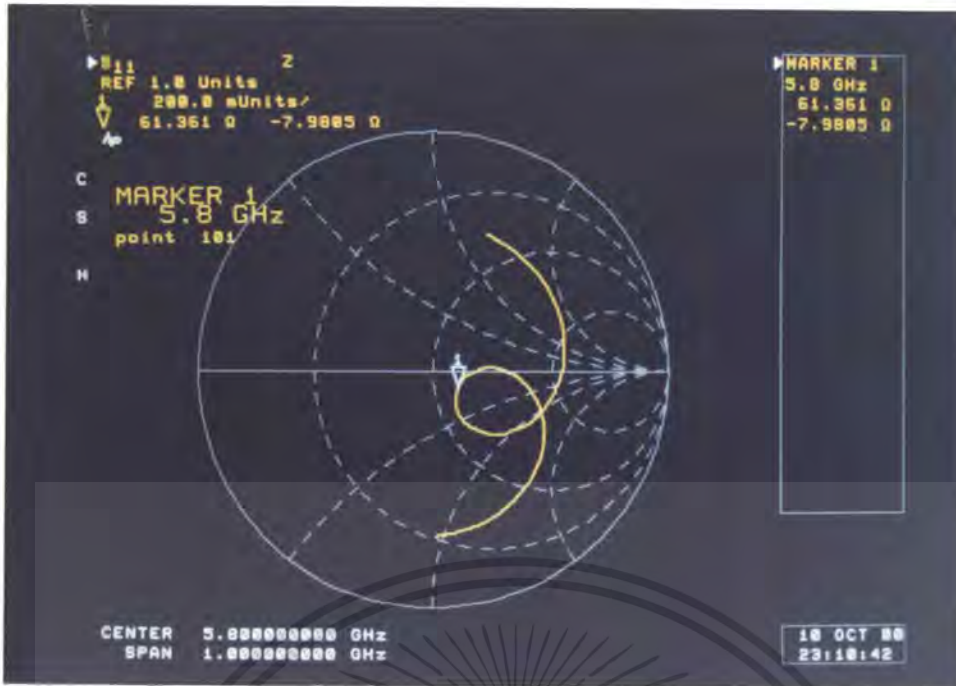
รูปที่ 5.2 ค่าขนาดของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการวัด

จากรูปสัญญาณ S_{11} จะมีค่าลดลงต่ำสุดที่ความถี่ 5.8 GHz โดยมีค่าเท่ากับ -18.106 dB แสดงว่าสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเคี้ยวที่ทำการทดลอง มีการสะท้อนของสัญญาณน้อยที่สุดที่ความถี่ 5.8 GHz ซึ่งหมายความว่าสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเคี้ยวอันสามารถนำมาใช้งานที่ความถี่ 5.8 GHz ได้



รูปที่ 5.3 ค่า SWR ของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการวัด

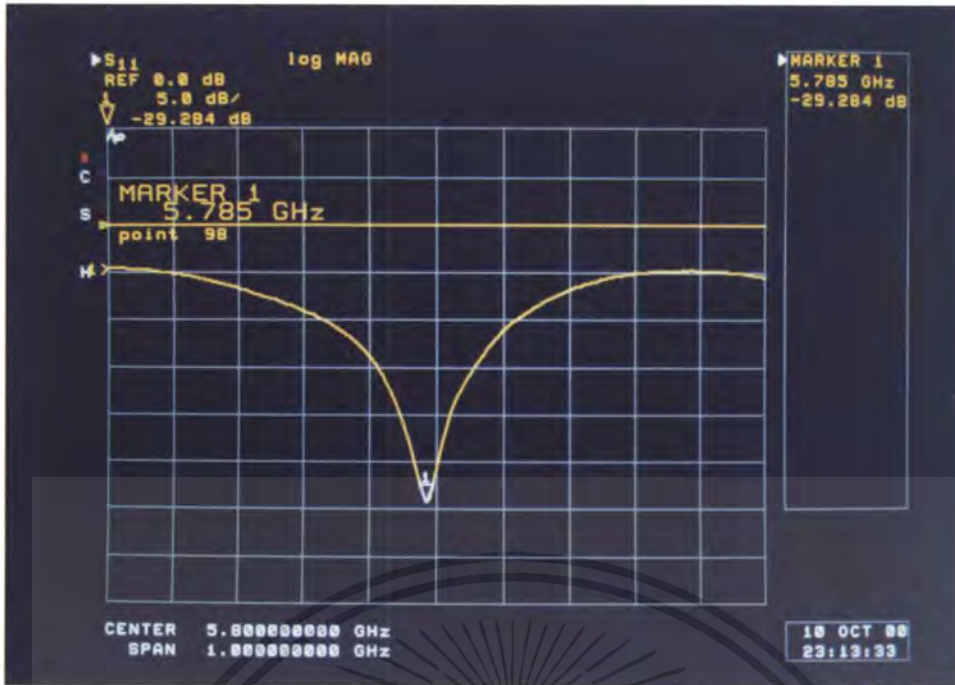
จากรูปที่ 5.3 เป็นการวัดเพื่อหาขนาดแบนด์วิดท์ของสายอากาศจากค่า SWR (Standing Wave Ratio) โดยจะพิจารณาที่ค่า SWR ต่ำกว่า 2 ดังนั้น ในรูปนี้ที่ความถี่ 5.8 GHz จะอยู่ในช่วงที่มีค่า SWR ต่ำกว่า 2 โดยมีค่าแบนด์วิดท์เท่ากับ 240 MHz และในรูปที่ 5.4 จะเป็นการพิจารณาค่า Z (Impedance) ของสายอากาศจากรูปกราฟที่พล็อตบนสมิธชาร์ต โดยในรูปนี้ ที่ความถี่ 5.8 GHz สายอากาศจะมีค่าอิมพีแดนซ์ทั้งส่วนที่เป็นค่าจริง $R = 61.361 \Omega$ และค่าจินตภาพ $XC = -7.9805 \Omega$ ซึ่งในการใช้งานต้องทำให้ค่า $R = 50 \Omega$ และพยายามให้ส่วนของค่าจินตภาพเป็นศูนย์ นั่นคือที่ความถี่ที่ต้องการใช้งานเส้นกราฟจะต้องอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางสมิธชาร์ต

จากผลการวัดสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบเดี่ยว จะพบว่าสายอากาศนี้มีคุณสมบัติที่ดี คือ ใช้งานที่ความถี่ 5.8 GHz ได้และมีแบนด์วิดท์ที่กว้างในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ แต่ถ้านำไปจัดเป็นสายอากาศแถวลำดับก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นไปอีก ดังนั้นจึงได้สร้างสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบแถวลำดับขึ้นมา

5.2.2 การวัดสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบแถวลำดับขนาด

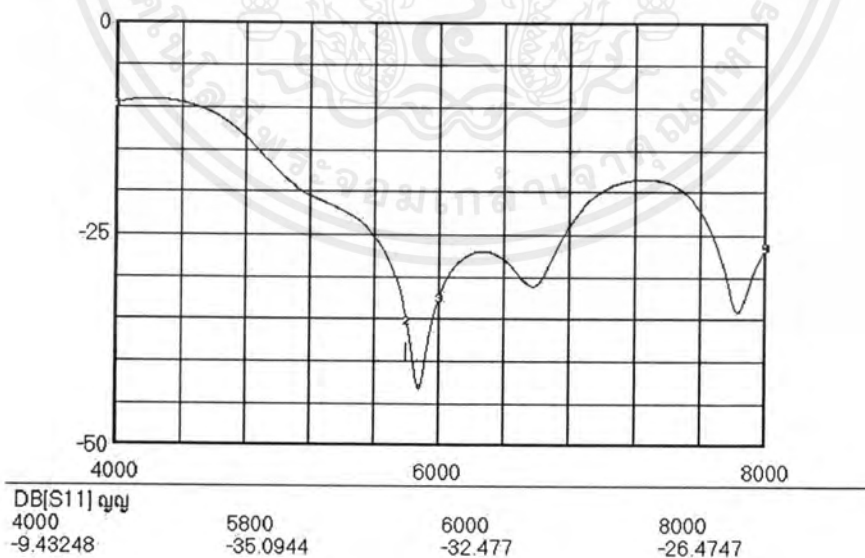
4 × 4 องค์ประกอบ

ในการวัดสายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบแถวลำดับจะมีวิธีการต่อเพื่อวัดสัญญาณเหมือนกับสายอากาศแบบเดี่ยว ดังนั้นจะได้ผลการวัดดังนี้



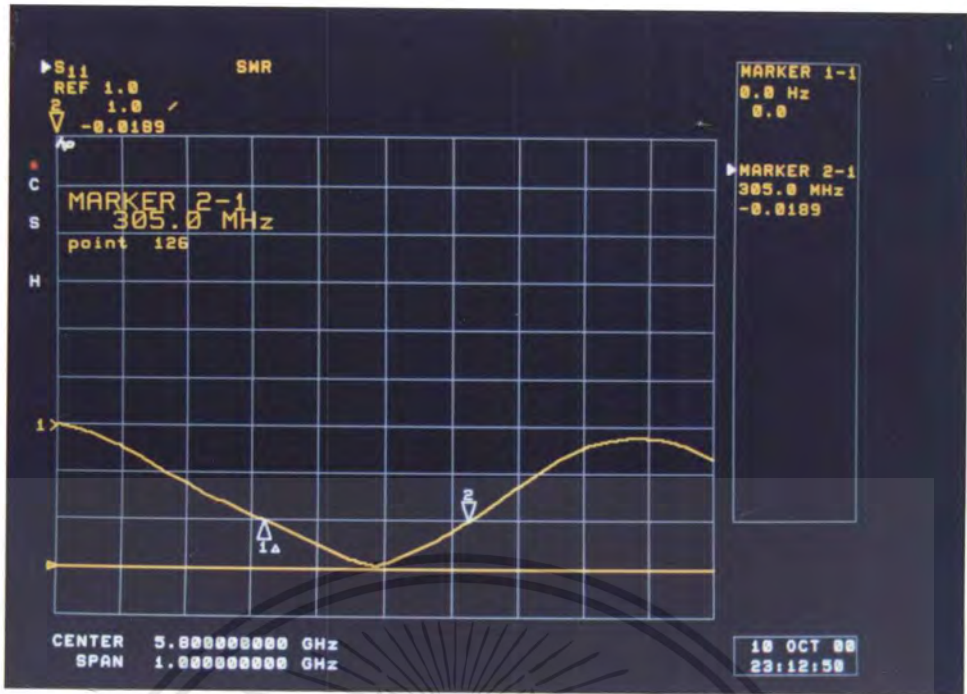
รูปที่ 5.5 ค่าขนาดของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการวัด

จากรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าขนาดของค่า S_{11} ลดลงต่ำกว่าค่า S_{11} ของสายอากาศแบบเดี่ยว แต่จุดต่ำสุดเลื่อนไปที่ความถี่ 5.785 GHz มีค่า $S_{11} = -29.284$ dB ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำดีมาก ส่วนที่ความถี่ 5.8 GHz จะมีค่า $S_{11} = -25.5$ dB ค่า S_{11} ของสายอากาศแบบแถวลำดับจะดีกว่าสายอากาศแบบเดี่ยวอยู่ 7.394 dB

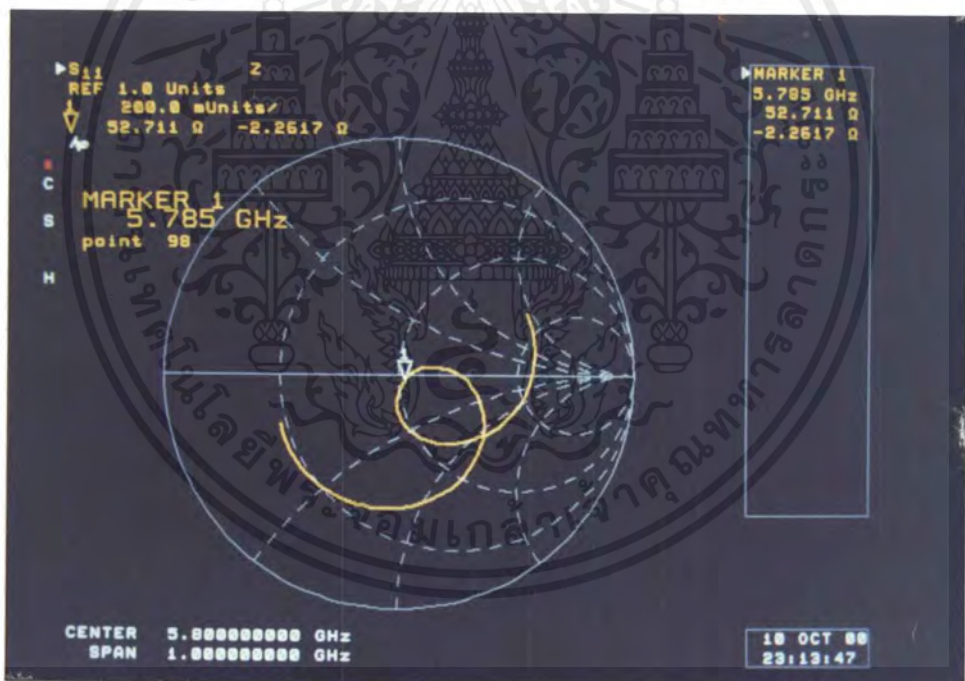


รูปที่ 5.6 ค่าขนาดของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการลอกเลียนวงจร (Simulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ค่า SWR ของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการวัด



รูปที่ 5.8 ค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ของสัญญาณ S_{11} ที่ได้จากการวัด

จากรูปที่ 5.7 เป็นค่า SWR ที่วัดได้ แสดงให้เห็นว่าสายอากาศแบบแถวลำดับที่ทำกรวด มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 305.0 MHz ซึ่งกว้างกว่าแบนด์วิดท์ของสายอากาศแบบเดี่ยว 65 MHz

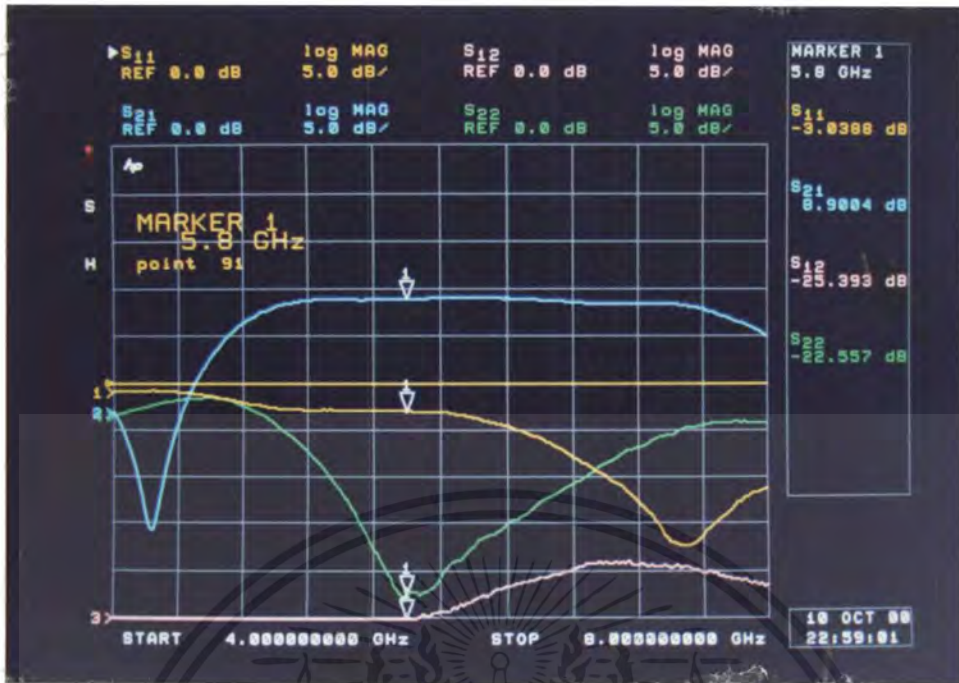
จากรูปที่ 5.8 ค่า $Z = 52.711 - j2.2617 \Omega$ ซึ่งแสดงว่าสายอากาศแบบแถวลำดับมีค่าอิมพีแดนซ์ที่ดีขึ้น คือค่าความต้านทานเข้าใกล้ 50Ω มากขึ้นและมีค่าความเป็นตัวเก็บประจุลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

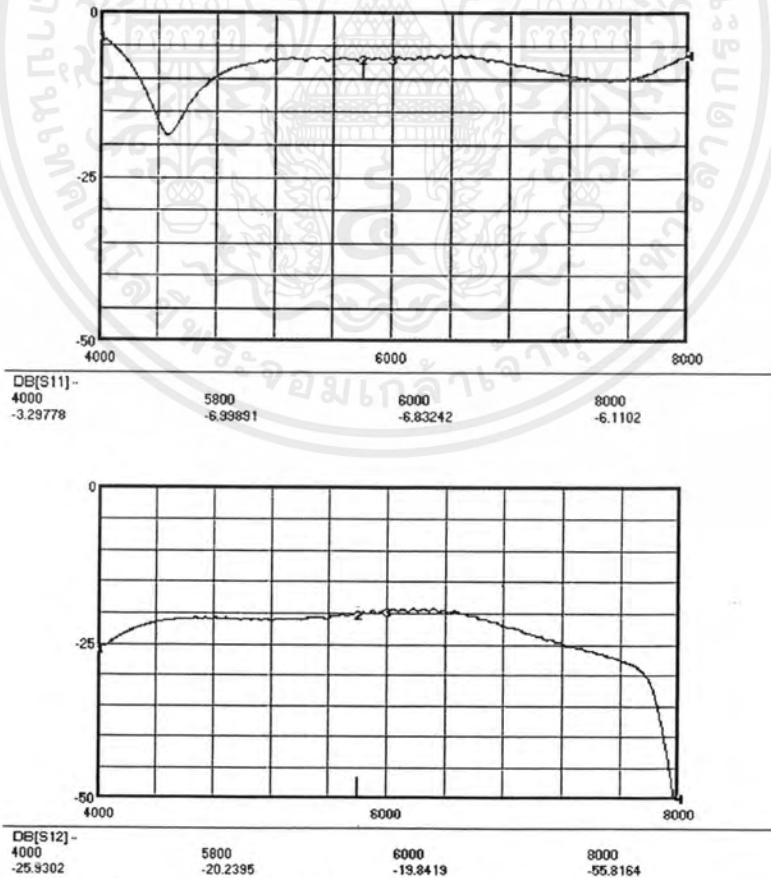
ดังนั้น จากผลการวัดสัญญาณเราจึงเลือกใช้สายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบแถวลำดับ ที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับด้านอินพุต $S_{11} = -29.284$ dB ที่ความถี่ 5.78 GHz และมาแบนด์วิดท์ B.W. = 305 MHz ซึ่งถ้านำค่าที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับการออกแบบจะพบว่า ค่าที่ได้จากการออกแบบจะมีผลที่ดีกว่า

5.3 การวัดผลการทำงานของวงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ

การวัดสัญญาณของวงจรขยาย จำเป็นต้องทำเพื่อตรวจสอบการทำงานของวงจรว่าให้ผลตรงตามที่ได้ทำการออกแบบไว้หรือไม่ และวงจรมีเสถียรภาพในการทำงานเพียงใด โดยในการวัดจะมีวิธีที่แตกต่างจากการวัดสายอากาศ เพราะวงจรขยายเป็นวงจรสองพอร์ต มีด้านอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นในการวัดจึงต้องใช้ สายวัดสัญญาณของเครื่อง Network Analyzer ทั้งสองข้าง ต่อเข้ากับพอร์ตทั้งสองของวงจร ตั้งค่าช่วงความถี่ที่ต้องการวัด และเลือกการวัด แสดงผลของค่า S พารามิเตอร์ ทั้งหมดคือ S_{11} , S_{12} , S_{21} และ S_{22} สิ่งสำคัญอีกอย่างที่จะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษในการวัดวงจรขยายคือ การต่อวงจร เพราะวงจรขยายจะมีส่วนของวงจรจ่ายไฟเลี้ยงให้กับตัวอุปกรณ์ขยาย ดังนั้น การต่อจะต้องดูขั้วไฟให้ถูกต้อง โดยต้องต่อสายกราวด์ สายไฟลบและสายไฟบวกตามลำดับ

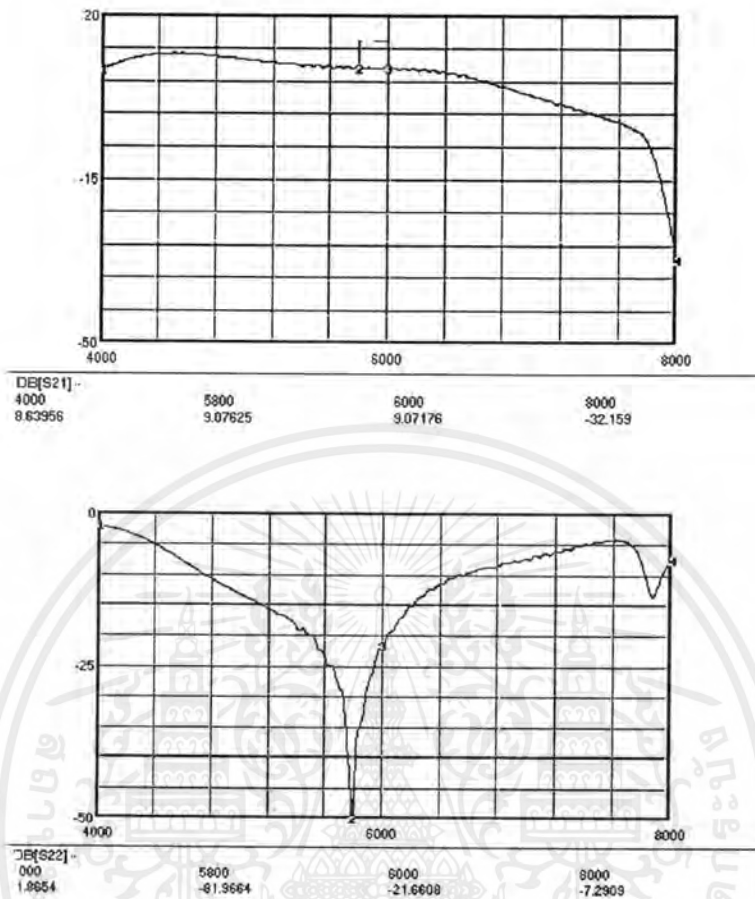


รูปที่ 5.9 ค่า S พารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง Network Analyzer



รูปที่ 5.10 ค่า S พารามิเตอร์ที่ได้จากการเลียนแบบ (Simulation) วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 ค่า S พารามิเตอร์ที่ได้จากการเลียนแบบ (Simulation) วงจร (รูปต่อ)

จากการวัดวงจรรขยายสัญญาณรบกวนค่า ในรูปที่ 5.9 เป็นผลที่วัดได้มีดังนี้

$$S_{11} = -3.0388 \text{ dB} \quad S_{21} = 8.9004 \text{ dB}$$

$$S_{12} = -25.393 \text{ dB} \quad S_{22} = -22.557 \text{ dB}$$

วงจรรขยายสัญญาณรบกวนค่านี้ จะให้อัตราขยายประมาณ 8.9 dB มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสัญญาณทางอินพุตที่ไม่ค่อยดีนัก (เป็นข้อจำกัดของ MESFET เบอร์นี้) แต่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของสัญญาณทางเอาต์พุต และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านย้อนกลับที่ดี จึงสามารถช่วยชดเชยกันได้

สำหรับ คุณสมบัติของวงจรเมื่อเทียบกับผลจากการเลียนแบบวงจร (Simulate) จะพบว่า ค่า S พารามิเตอร์โดยรวมแล้วจะดีกว่าวงจรจริง แทบทุกค่า แต่วงจรที่สร้างขึ้นมาจริงนั้นก็ถือว่าสามารถใช้งานได้ในระดับหนึ่ง ดังนั้น จึงนำวงจรรขยายสัญญาณรบกวนค่านี้ไปใช้ในการสร้างวงจรในส่วนสุดท้ายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การวัดผลการทำงานเมื่อรวมวงจรถยายและสายอากาศเข้าด้วยกัน

การทำาทดลองในส่วนนี้จะเป็นการวัดผลขั้นสุดท้ายของการทดลอง โดยการนำส่วนของวงจรถยายสัญญาณรบกวนต่ำมาประกอบร่วมกับสายอากาศแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบแถวลำดับขนาด 4×4 องค์กรประกอบแล้ววัดผล ซึ่งในการทดลองจะเปรียบเทียบกับสายอากาศแบบพาสซีฟที่ไม่มีวงจรถยายต่อรวมอยู่ด้วย

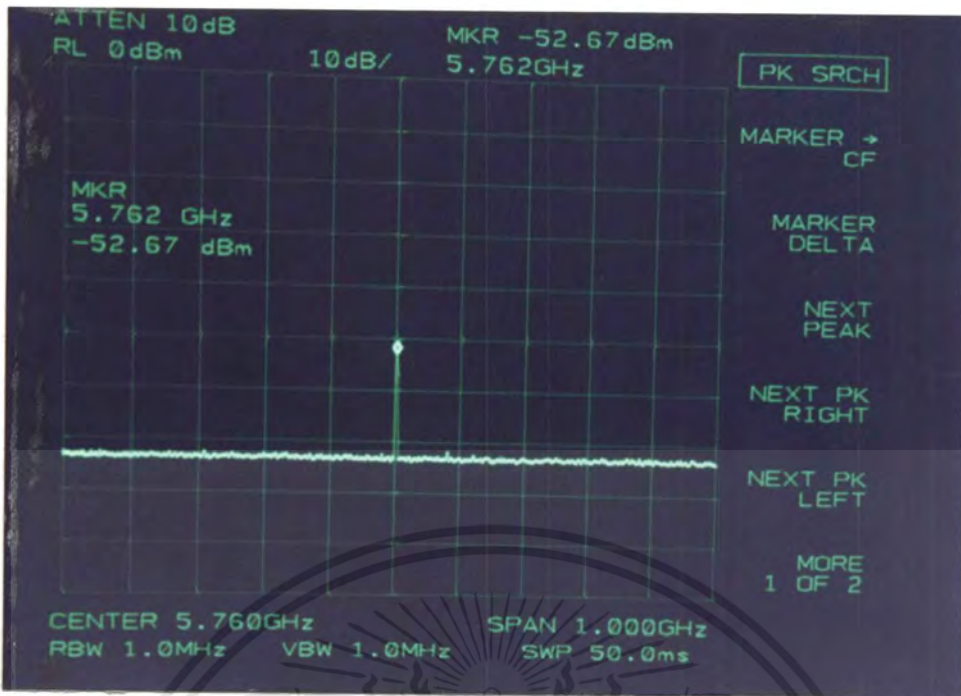
ในการทดลองจะใช้ เครื่อง Series Synthesized Sweeper ในการผลิตความถี่ 5.76 GHz ให้กับสายอากาศตัวส่ง (Transmitter Antenna) ซึ่งเป็นสายอากาศแบบพาสซีฟแบบเดียวกัน โดยจะส่งด้วยกำลังงาน 0 dBm ดังรูปที่ 5.11 และใช้เครื่อง Spectrum Analyzer ในการวัดระดับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศตัวรับ (Receiver Antenna) ซึ่งสายอากาศตัวรับนี้จะเป็นส่วนของสายอากาศที่ต้องการจะนำทดสอบ โดยกำหนดให้ระยะของสายอากาศตัวส่งและตัวรับห่างกัน 1.5 เมตร คงที่ตลอด (สนามระยะไกลอยู่ที่ 0.95 เมตร)



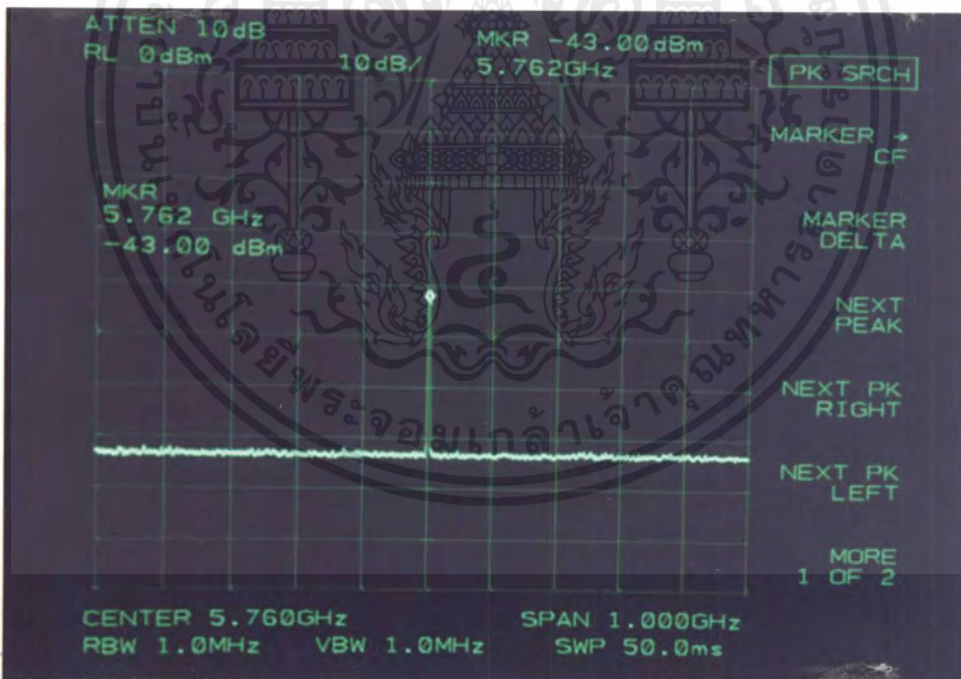
รูปที่ 5.11 การต่อสายอากาศตัวส่งกับเครื่อง Series Synthesized Sweeper

5.4.1 การวัดความแรงของสัญญาณ

จะเป็นการวัดความแรงของสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศที่เป็นแบบพาสซีฟและแอกทีฟ แล้วนำมาเปรียบเทียบความแตกต่าง เพื่อเป็นข้อพิสูจน์ในการเลือกใช้สายอากาศ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

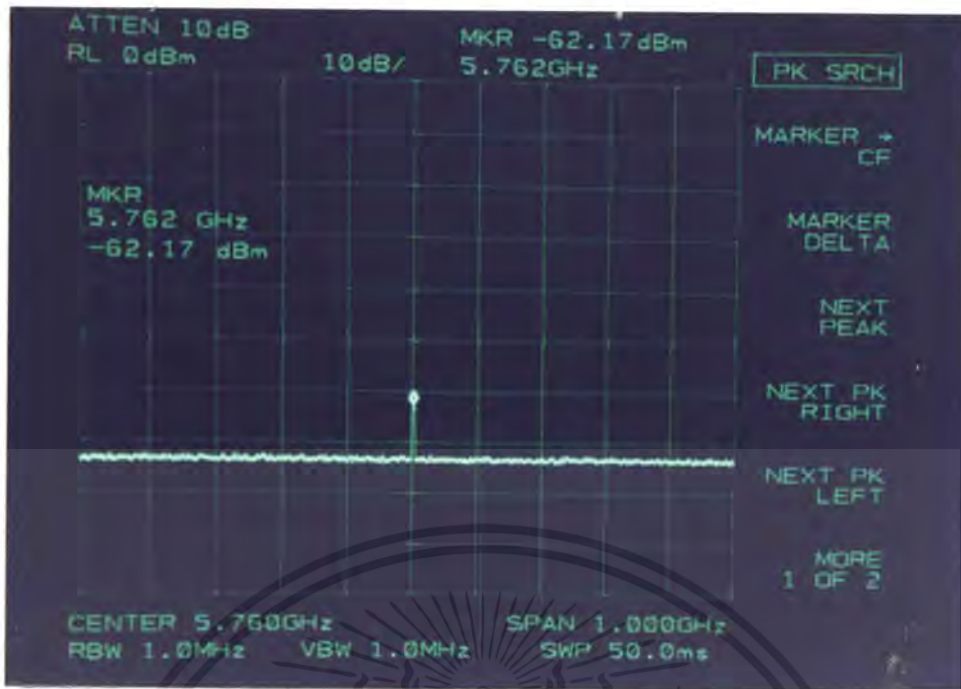


รูปที่ 5.12 ระดับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศแบบพาสซีฟ



รูปที่ 5.13 ระดับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศแบบแอกทีฟ (ขณะมีการไบอัสให้กับเฟท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.14 ระดับสัญญาณที่รับได้จากสายอากาศแบบแอกทีฟ (ขณะไม่มีการ ใ้อสให้กับเฟท)

จากรูปที่ 5.12, 5.13 และ 5.14 จะเห็นว่า ความแรงของสัญญาณที่วัด ได้ที่ความถี่ 5.76 GHz ของสถานะต่างมีค่าดังนี้

สายอากาศแบบพาสซีฟ มีค่าเท่ากับ -52.67 dBm

สายอากาศแบบแอกทีฟ (ขณะมีการ ใ้อสให้กับเฟท) มีค่าเท่ากับ -43 dBm

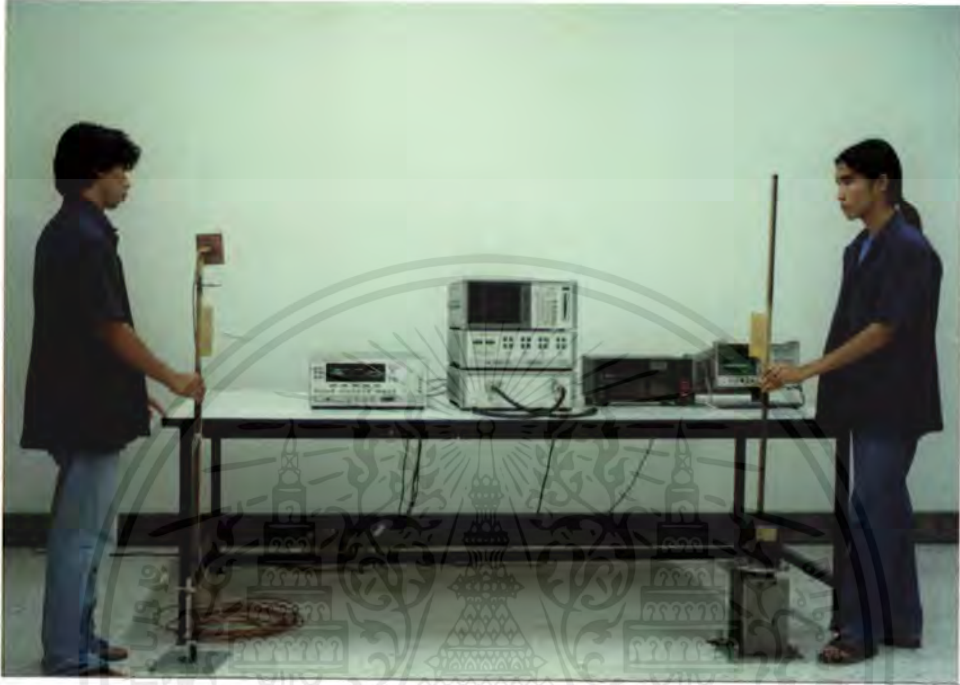
สายอากาศแบบแอกทีฟ (ขณะไม่มีการ ใ้อสให้กับเฟท) มีค่าเท่ากับ -62.17 dBm

จากผลที่ได้ทำการวัด แสดงให้เห็นว่า สายอากาศแบบแอกทีฟเมื่อมีการ ใ้อสให้เฟท ทำงาน จะมีค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้สูงที่สุด ดังนั้น แสดงว่าการออกแบบและสร้าง แวดำดับสายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อกับช่องเปิดแบบแอกทีฟ สามารถใช้งานได้จริงและมี ประสิทธิภาพ

5.4.2 การวัดแบบรูปการแพร่กระจาย

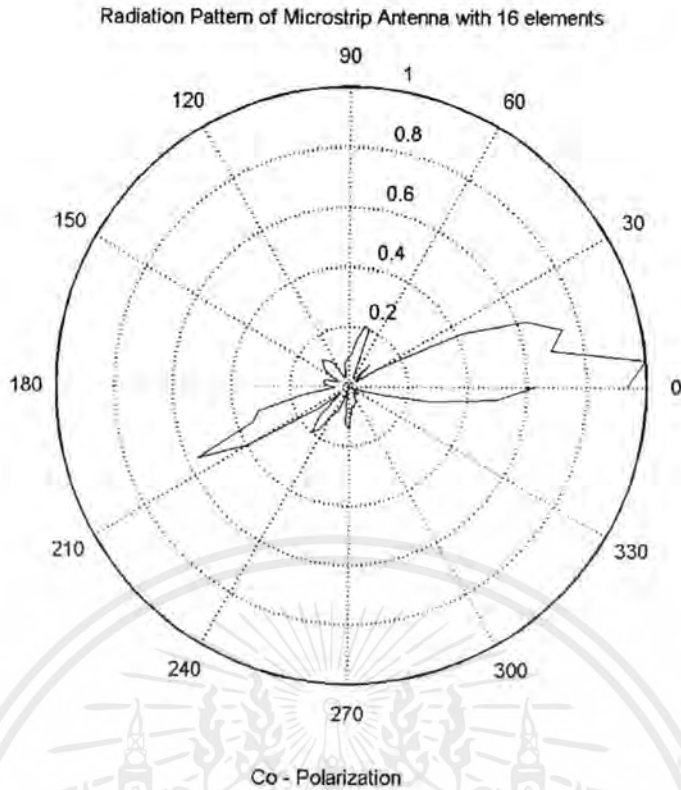
การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ เป็นส่วนสำคัญที่ใช้แสดงคุณสมบัติ ของสายอากาศ เพราะจะแสดงถึงลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศว่ามีทิศทางเป็น เช่นไร มีบีมวิดท์กว้างหรือแคบ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของ สายอากาศ

ในการวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ จะวัดเฉพาะสายอากาศแบบ แอกรทีฟที่มีการไบอัสให้กับเฟด มีลักษณะคล้ายกับการวัดความแรงของสัญญาณ แต่จะเพิ่มทิศทางการรับของสายอากาศ ดังรูปที่ 5.15 สายอากาศตัวส่งจะต่อกับเครื่อง Synthesized Sweeper และถูกยึดติดไว้กับที่ ส่วนสายอากาศในด้านรับจะต่อกับเครื่อง Spectrum Analyzer และวางบนฐานที่สามารถหมุนได้



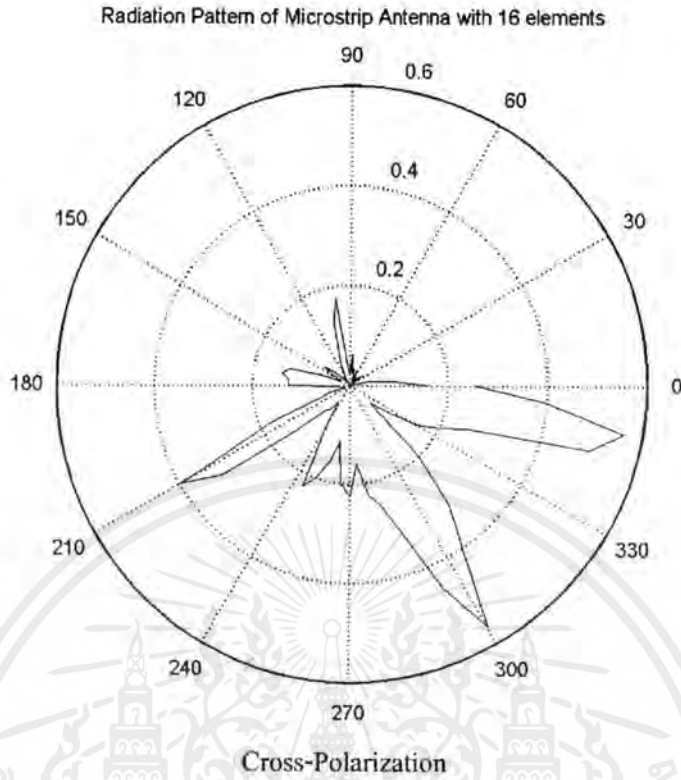
รูปที่ 5.15 การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

ในครั้งแรกจะทำการวัดในระนาบสนามไฟฟ้า โดยจะตั้งให้สายอากาศตัวรับมีทิศทางการวางตัวของแผ่นสายอากาศแบบเดียวกับทางสายอากาศด้านส่ง และหันหน้าไปหาสายอากาศตัวส่ง ทำมุม 0° จากนั้นบันทึกผลของค่าความแรงสัญญาณที่ได้จากหน้าจอของ Spectrum Analyzer แล้วเปลี่ยนค่ามุมไปที่ละ 5° บันทึกผลทุกครั้ง ทำจนครบ 360° จากนั้นนำค่าที่บันทึกได้ทั้งหมดไปพล็อตกราฟจะได้ผลดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นบนระนาบสนามไฟฟ้า

ทำการวัดในระนาบของสนามแม่เหล็ก โดยหมุนสายอากาศตัวรับจากทิศทางเดิมไป 90° หรือให้แผ่นสายอากาศตัวรับมีทิศทางการวางตัววางกับแผ่นสายอากาศของตัวส่ง และหันหน้าไปหาสายอากาศตัวส่ง ทำมุม 0° จากนั้นบันทึกผลของค่าความแรงสัญญาณที่ได้จากหน้าจอของ Spectrum Analyzer แล้วเปลี่ยนค่ามุม ไปทีละ 5° บันทึกผลทุกครั้ง ทำจนครบ 360° จากนั้นนำค่าที่บันทึกได้ทั้งหมดไปพล็อตกราฟจะได้ผลดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 แบบรูปการแพร่กระจายคลื่นบนระนาบสนามแม่เหล็ก

5.5 สรุป

การทดลองวัดสัญญาณในส่วนต่างๆของวงจร ทำให้เราสามารถนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงวงจรในแต่ละส่วนให้มีประสิทธิภาพสูงสุดก่อนที่จะนำมารวมกัน และจากการวัดผลของวงจรที่นำมารวมเข้าด้วยกันแล้วปรากฏว่า มีผลการทำงานที่น่าพอใจ คือ วงจรขยายสามารถช่วยขยายสัญญาณให้กับสายอากาศได้เป็นอย่างดี และสายอากาศเมื่อนำมาทำเป็นแถวลำดับก็ทำให้มีแบนด์วิดท์ในการใช้งานเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังทำให้สายอากาศมีทิศทางในการแพร่กระจายคลื่นดีขึ้น (มีบีมวิดท์แคบลง) ดังนั้น การสร้างแถวลำดับสายอากาศแผ่นที่เชื่อมต่อด้วยช่องเปิดแบบแอกทีฟ จึงสามารถนำไปใช้งานได้ตามความมุ่งหมาย

บทที่ 6

บทสรุป

โครงการนี้เป็นการศึกษาและสร้าง สายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า แบบแถวลำดับขนาด 4×4 องค์ประกอบ ร่วมกับวงจรถยายสัญญาณรบกวนต่ำ โดยโครงสร้าง จะประกอบด้วยวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริก 2 ชั้นประกบกัน บนผิวหน้าของวัสดุฐานรอง ไดอิเล็กตริก ชั้นบนจะสร้างสายอากาศ ไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบแถวลำดับขนาด 4×4 องค์ประกอบ ส่วนผิวหน้าของวัสดุฐานรองไดอิเล็กตริกชั้นล่างจะสร้างวงจรถยาย สัญญาณรบกวนต่ำที่ต่อกับสายป้อนสัญญาณที่มีการแมตช์อิมพีแดนซ์ด้วยตัวแปลงอิมพีแดนซ์ หนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น ส่วนตรงกลางระหว่างวัสดุฐานรอง จะแยกกันด้วยระนาบกราวด์ที่มีช่อง เปิด จากการทดลองจะพบว่า โครงการที่สร้างขึ้นมานี้มีข้อดีหลายด้าน เช่น สายอากาศมีแบนด์วิดท์ กว้างและมีบีเอ็มวีคที่แคบ ทำให้สามารถใช้งานได้หลายช่วงความถี่ และสายอากาศมีทิศทางใน การรับสัญญาณดีขึ้น ในส่วนของวงจรถยายสัญญาณรบกวนต่ำจะมีอัตราขยายสัญญาณที่สูง สามารถขยายสัญญาณที่รับมาจากสายอากาศให้มีความแรงเพียงพอที่จะส่งไปยังภาคต่อไป

ดังนั้น โครงการที่สร้างขึ้นมานี้ จึงสามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ในชุดตรวจสอบคุณ ลักษณะของช่องสัญญาณ (Channel Sounder) ในระบบสื่อสารได้ตามวัตถุประสงค์ และยังสามารถ นำไปใช้ในระบบสื่อสารไร้สายอื่นๆ เช่น ระบบแลนไร้สาย (Wireless LANs) เป็นต้น

ปัญหา

จากการทำโครงการ ปัญหาและอุปสรรคที่ทำให้ไม่สามารถสร้างงานให้มีประสิทธิภาพ สูงสุด คือ

1. วัสดุอุปกรณ์ที่ต้องใช้มีราคาสูงมากและหาได้ยาก จึงต้องเปลี่ยนไปใช้วัสดุที่มีราคาต่ำลง ทำให้งานที่ได้มีคุณภาพลดลงไปด้วย
2. อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในส่วนของวงจรถยายและวงจรจ่ายไฟ มีขนาดเล็กและไม่สามารถทน ความร้อนที่สูงได้ ดังนั้นการเชื่อมต่ออุปกรณ์จะต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ
3. การออกแบบทางทฤษฎีและการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย ไม่สามารถให้ค่าที่ ถูกต้องได้ เพราะเมื่อสร้างชิ้นงานจริงออกมาจะมีผลกระทบจากสภาพสิ่งแวดล้อม ซึ่งไม่สามารถ นำมาคำนวณได้
4. การวัดแบบรูปการแพร่กระจายคลื่น จะได้ผลที่ไม่ดีนักเพราะ การวัดที่ถูกต้องจะใช้ห้อง ทดลองในการวัดโดยเฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวทางในการพัฒนาต่อไป

โครงการนี้สามารถจะขยายขีดความสามารถและพัฒนาต่อไปได้อีกหลายด้าน เช่น

1. พัฒนาให้วงจรขยายมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
2. เพิ่มจำนวนองค์ประกอบในการทำแอมพลิฟายเออร์ เพื่อให้สายอากาศมีแบนด์วิดท์กว้างขึ้น และมีบีเอ็มวีดีที่แคบลง
3. พัฒนาให้สามารถนำไปใช้รับสัญญาณจากดาวเทียมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ฉลอง แซ่จ๋า และ วิสูตร อิมแฮม, 2541, “วงจรรขยายความถี่สูงและสัญญาณรบกวนต่ำ,” ปรินญา
นิพนธ์ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาเทคนิค-
อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Guillermo Gonzalez, Ph.D., 1994, **Microwave Transistor Amplifiers Analysis and Design**,
New Jersey : Prentice-Hall.

George D. Vendelin, Anthony M.Pavio, Ulrich L. Rochde, 1938, **Microwave Circuit Design
Using Linear and Nonlinear Techniques**, New York : John Wiley & Sons.

Constantine A. Balanis, 1997, **Antenna Theory Analysis and Design**, United States of America :
John Wiley & Sons.

Robert A. Sainati, “Aperture coupled patches,” 92-108, **CAD of Microstrip Antenna for
Wireless Application**.

Jean-Francois zutcher and Fred E. Gardiol, “Patch Antenna Array,” 139-142, **Broadband Patch
Antennas**.

David M. Pozar, “A Reciprocity Method of Analysis for Printed Slot and Slot-Coupled Microstrip
Antenna,” **IEEE Trans. Antennas Propagat.**, vol. AP-34, pp. 1439-1446, Dec. 1986

Daizo Nukiyama, Isamu Matsuzuka, “Almost Nonsidelobe Unidirectional Planar Array,” **IEEE
Trans. Antennas and Propagation.**, Vol. AP-28, NO. 2, pp. 253-255, March 1980

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

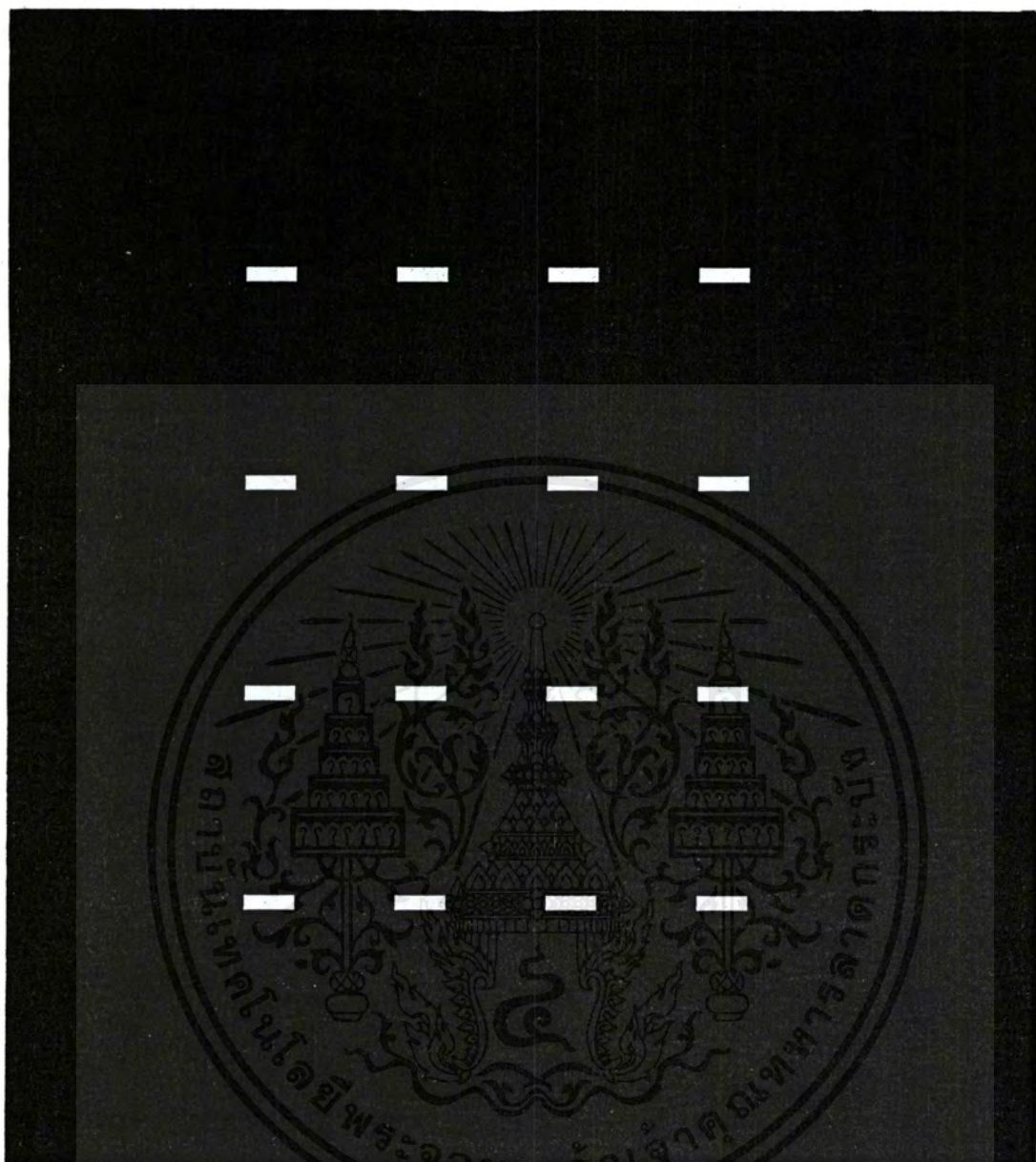


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



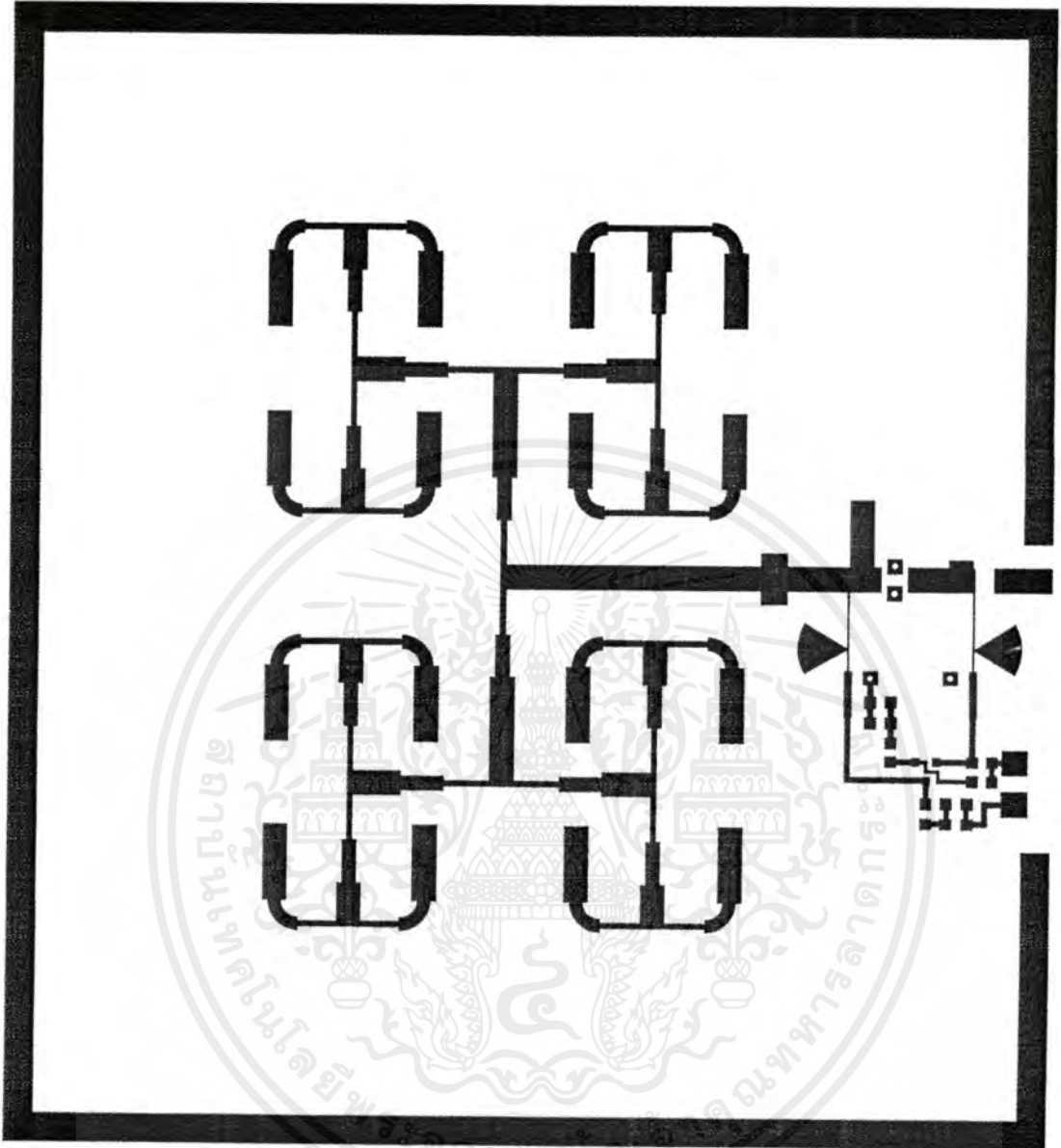
รูปถ่ายวงจรบนแผ่นไดโอดีทริกชั้นบน
(แถวลำดับสายอากาศไมโครสตริปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 4x4 องค์กรประกอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



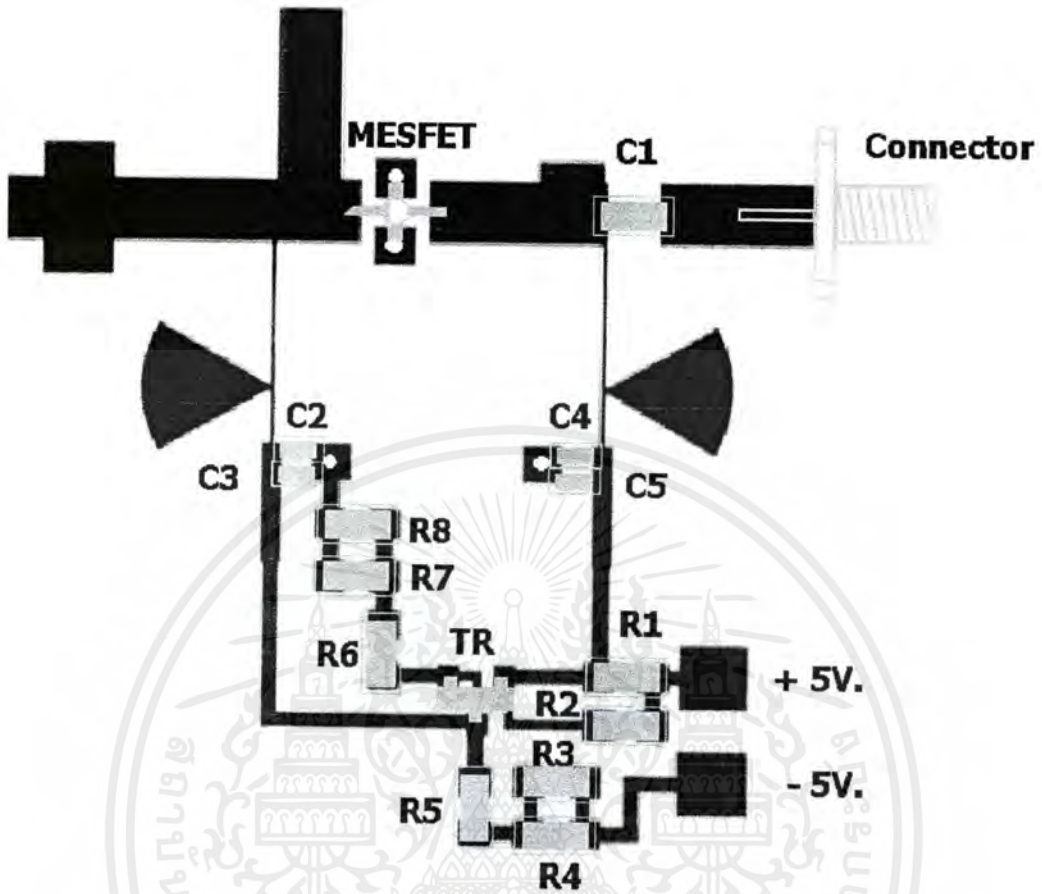
รูปลายวงจรบนแผ่นระนาบกรวดระหว่างไดอิเล็กตริกทั้งสองชั้น
(ร่องเปิด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปลายวงจรบนแผ่น ไดโอดีกริกชั้นล่าง
(วงจรรวมสัญญาณ, วงจรขยายสัญญาณรบกวนต่ำและชุดจ่ายไฟ DC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของวงจรขยายและวงจรจ่ายไฟ

อุปกรณ์ที่ใช้เป็นแบบ Mouth Surface

ขนาด 1206

R1 = 100Ω,

R2 = 1kΩ,

R3 = 50Ω,

R4 = 50Ω,

R5 = 330Ω,

R6 = 390Ω,

R7 = 50Ω,

R8 = 50Ω,

C1 = 3pF.

ขนาด 0805

C2 = 1000pF.,

C3 = 0.5pF.,

C4 = 1000pF.,

C5 = 0.5pF.,

MESFET MGF 4314 D

TR 2SA1235

Connector SMA

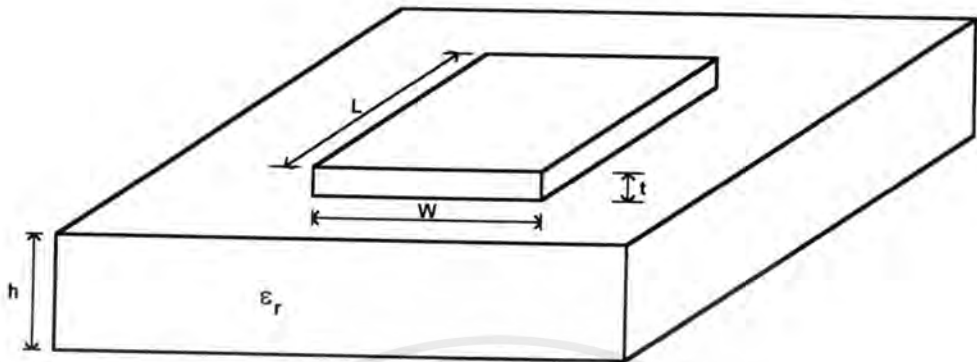
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศไมโครสตริปแผ่นสี่เหลี่ยม



ความกว้าง

$$W = \frac{v_o}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

ความยาว

$$L = \frac{v_o}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L$$

โดย

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

$$\Delta L = 0.412(h) \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} + 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรขยายสัญญาณรบกวนต่ำ

วงกลมเสถียรภาพ

วงกลมเสถียรภาพด้านอิมพุท

จุดศูนย์กลาง

$$c_s = \frac{C_s^*}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2}$$

รัศมี

$$r_s = \frac{|S_{12}S_{21}|}{|S_{11}|^2 - |\Delta|^2}$$

วงกลมเสถียรภาพด้านเอาต์พุท

จุดศูนย์กลาง

$$c_l = \frac{C_L^*}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2}$$

รัศมี

$$r_l = \frac{|S_{12}S_{21}|}{|S_{22}|^2 - |\Delta|^2}$$

โดย

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$$

$$C_s = S_{11} - \Delta S_{22}^*$$

$$C_L = S_{22} - \Delta S_{11}^*$$

แฟคเตอร์เสถียรภาพ

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2|S_{12}S_{21}|}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงกลมอัตรายายที่ใช้งาน

จุดศูนย์กลาง

$$C_a = \frac{g_a |C_1|^*}{1 + g_a (|S_{11}|^2 - |\Delta|^2)}$$

รัศมี

$$R_a = \frac{[1 - 2K |S_{12} S_{21}| g_a + |S_{12} S_{21}|^2 g_a^2]^{1/2}}{|1 + g_a (|S_{11}|^2 - |\Delta|^2)|}$$

เมื่อ

$$G_{ms} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}$$

$$g_a = \frac{G_A}{|S_{21}|^2}$$

$$C_1 = S_{11} - \Delta S_{22}^*$$

$$G_{ms} = G_A$$

วงกลมสัญญาณรบกวน

จุดศูนย์กลาง

$$C_F = \frac{\Gamma_{opt}}{1 + N_i}$$

รัศมี

$$R_F = \frac{\sqrt{N_i^2 + N_i (1 - |\Gamma_{opt}|^2)}}{1 + N_i}$$

เมื่อ

$$N_i = \frac{F_i - F_{\min}}{4r_n} |1 + \Gamma_{opt}|^2$$

$$r_n = \frac{R_n}{Z_o}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MITSUBISHI SEMICONDUCTOR <GaAs FET>

MGF431xG

Super Low Noise InGaAs HEMT

DESCRIPTION

The MGF431xG series super-low-noise HEMT(High Electron Mobility Transistor) is designed for use in L to K band amplifiers. The hermetically sealed metal-ceramic package assures minimum parasitic losses, and has a configuration suitable for microstrip circuits.

FEATURES

- Low noise figure @ $f=12\text{GHz}$
MGF4316G : NF min.=0.80dB (MAX.)
MGF4319G : NF min.=0.50dB (MAX.)
- High associated gain
 $G_s=12.0\text{ dB (MIN.)}$ @ $f=12\text{GHz}$

APPLICATION

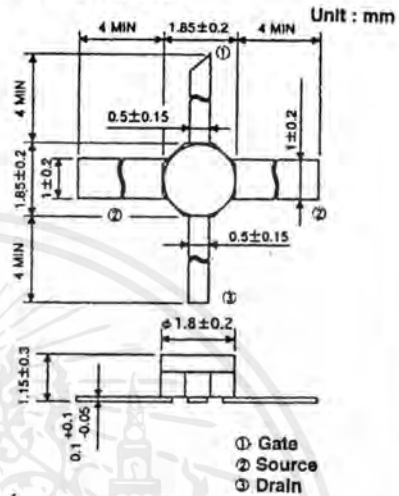
L to K band low noise amplifiers.

QUALITY GRADE

- GG

RECOMMENDED BIAS CONDITIONS

- $V_{DS}=2\text{V}$, $I_D=10\text{mA}$
- Refer to Bias Procedure

OUTLINE DRAWING**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS** ($T_a=25^\circ\text{C}$)

Symbol	Parameter	Ratings	Unit
V_{GDO}	Gate to drain voltage	-4	V
V_{GSO}	Gate to source voltage	-4	V
I_D	Drain current	60	mA
P_T	Total power dissipation	50	mW
T_{ch}	Channel temperature	125	$^\circ\text{C}$
T_{stg}	Storage temperature	-65 ~ +125	$^\circ\text{C}$

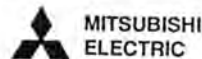
< Keep safety first in your circuit designs! >

Mitsubishi Electric Corporation puts the maximum effort into making semiconductor products better and more reliable, but there is always the possibility that trouble may occur with them. Trouble with semiconductors may lead to personal injury, fire or property damage. Remember to give due consideration to safety when making your circuit designs, with appropriate measures such as (i) placement of substitutive, auxiliary circuits, (ii) use of non-flammable material or (iii) prevention against any malfunction or mishap.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_a=25^\circ\text{C}$)

Symbol	Parameter	Test conditions	Limits			Unit
			Min.	Typ.	Max	
$V_{BRV_{GDO}}$	Gate to drain breakdown voltage	$I_G = -10\mu\text{A}$	-3	—	—	V
I_{GSS}	Gate to source leakage current	$V_{GS} = -2\text{V}$, $V_{DS} = 0\text{V}$	—	—	50	μA
I_{DSS}	Saturated drain current	$V_{GS} = 0\text{V}$, $V_{DS} = 2\text{V}$	15	—	60	mA
$V_{GS(off)}$	Gate to Source cut-off voltage	$V_{DS} = 2\text{V}$, $I_D = 500\mu\text{A}$	-0.1	—	-1.5	V
g_m	Transconductance	$V_{DS} = 2\text{V}$, $I_D = 10\text{mA}$	—	75	—	mS
G_s	Associated gain	$V_{DS} = 2\text{V}$, $I_D = 10\text{mA}$, $f = 12\text{GHz}$	12	13.5	—	dB
N_{Fmin}	Minimum noise figure	$V_{DS} = 2\text{V}$, $I_D = 10\text{mA}$, $f = 12\text{GHz}$	—	—	0.8	dB
			—	—	0.5	
$R_{th(ch-a)}$	Thermal resistance	*1 ΔV_f method	—	625	—	$^\circ\text{C/W}$

*1 : Channel to ambient

MITSUBISHI
ELECTRIC

as of Apr. '98

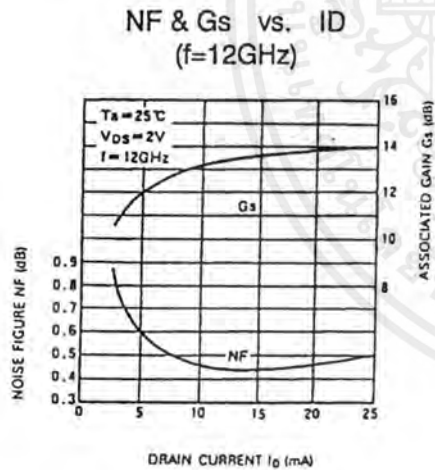
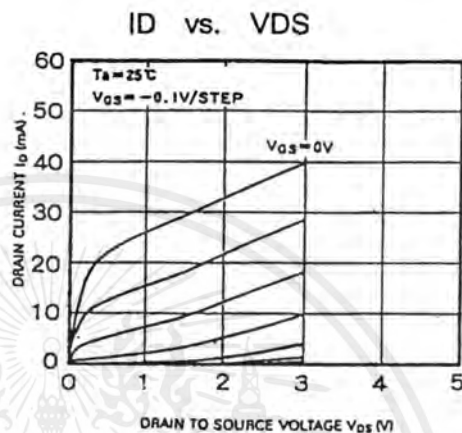
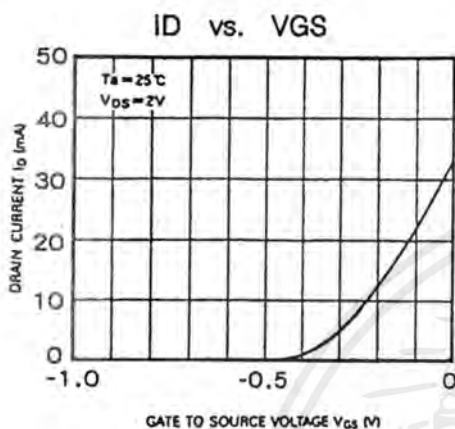
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MITSUBISHI SEMICONDUCTOR <GaAs FET>

MGF431xG

Super Low Noise InGaAs HEMT

Typical Characteristics



MITSUBISHI SEMICONDUCTOR <GaAs FET>

MGF431xG

Super Low Noise InGaAs HEMT

Typical Characteristics

S Parameters (Ta=25°C , VDS=2V , ID=10mA)

f (GHz)	S11		S21		S12		S22		MSG/MAG (dB)	K
	Magn.	Angle	Magn.	Angle	Magn.	Angle	Magn.	Angle		
1	0.990	-22.3	5.775	158.1	0.020	71.9	0.533	-19.2	28.8	0.10
2	0.967	-40.6	5.585	140.6	0.035	61.8	0.514	-33.4	26.5	0.19
3	0.925	-53.2	5.401	128.9	0.051	53.3	0.489	-42.9	24.3	0.27
4	0.874	-70.9	5.161	111.8	0.064	42.4	0.457	-58.2	21.6	0.35
5	0.831	-88.8	4.899	96.8	0.075	29.3	0.424	-71.6	19.8	0.43
6	0.783	-105.7	4.626	80.8	0.083	19.0	0.391	-87.5	18.1	0.50
7	0.743	-120.6	4.316	67.9	0.087	9.1	0.369	-100.6	16.8	0.57
8	0.706	-132.1	4.100	56.4	0.090	4.1	0.357	-110.8	15.9	0.64
9	0.682	-144.7	3.887	43.2	0.093	-6.4	0.357	-122.3	15.1	0.69
10	0.670	-159.1	3.765	30.1	0.094	-14.3	0.351	-133.0	14.7	0.72
11	0.639	-171.8	3.617	17.5	0.095	-24.4	0.339	-143.5	14.0	0.80
12	0.617	175.3	3.526	4.5	0.096	-33.5	0.329	-154.0	13.5	0.86
13	0.591	163.1	3.421	-8.1	0.094	-42.5	0.328	-163.9	13.0	0.91
14	0.571	152.9	3.349	-17.4	0.094	-50.9	0.328	-171.3	12.7	0.95
15	0.565	140.1	3.333	-29.6	0.096	-61.1	0.343	179.5	12.7	0.96
16	0.560	125.8	3.349	-44.4	0.098	-74.1	0.351	170.5	12.7	0.98
17	0.533	109.8	3.356	-59.9	0.101	-88.8	0.337	161.8	12.5	1.01
18	0.484	91.2	3.337	-77.0	0.104	-105.1	0.310	151.6	12.1	1.11

Noise Parameters (Ta=25°C , VDS=2V , ID=10mA)

f (GHz)	G opt.		Rn (Ω)	NFmin.(dB)		Gs (dB)
	Magn.	Angle		MGF4316G	MGF4319G	
4	0.76	49	12.5	0.31	0.24	18.3
8	0.59	95	4.7	0.47	0.35	15.9
12	0.48	139	2.3	0.60	0.45	13.5
14	0.41	166	1.8	0.69	0.50	12.3
18	0.34	-142	1.5	0.88	0.61	9.9

MITSUBISHI
ELECTRIC

as of Apr.'98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้