



Handwritten marks and numbers in the top right corner, including a circled '21' and the number '22'.

โครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริปและการประยุกต์

MICROSTRIP PERIODIC STRUCTURE AND ITS APPLICATIONS



โดย

นายชัยวัฒน์ ตั้งกิจฉาวุธย์

นายณรงค์ชนม์ ชมตา

วัน เดือน ปี.....	18.ค.ค. 2541
เลขทะเบียน.....	039087
เลขเรียกหนังสือ.....	T 110728 มี 431ด.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

039087

โครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสทริปและการประยุกต์
MICROSTRIP PERIODIC STRUCTURE AND ITS APPLICATIONS



โดย
นายชัยวัฒน์ ตั้งกิจจดาวุธ 37014092

นายฉรรงกษณ์ ชมสา 37014105

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.จเร สุรวัดน์ปัญญา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง โครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริปและการประยุกต์

MICROSTRIP PERIODIC STRUCTURE AND ITS APPLICATIONS

ผู้จัดทำ

1. นายชัยวัฒน์ ตั้งกิจลดาวัลย์ 37014092

2. นายณรงค์ชนม์ ชมตา 37014105

๑๖๘ B
(รศ.ดร.จเร สุรวัฒน์ปัญญา)
อาจารย์ที่ปรึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริปและการประยุกต์
MICROSTRIP PERIODIC STRUCTURE AND
ITS APPLICATIONS

โดย นายชัชวัฒน์ ตั้งกิจสตาวัลย์ 37014092
นายณรงค์ชนม์ ชมสา 37014105

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จเร สุรวัดน์ปัญญา

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาโครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริปและการประยุกต์ ซึ่งโครงสร้างชนิดนี้จะทำให้เกิดการป้อนกลับ ที่ความถี่แน่นอนอย่างมีเสถียรภาพ จึงนำมาสร้างเป็นวงจรกำจัดแถบความถี่ และนำคุณสมบัติดังกล่าว มาใช้ในการสร้างกั้นน้อสซิลเลเตอร์ ที่มีกั้นไดโอดฝังอยู่ในโครงสร้างแบบพีริโอดิกนี้ ทำให้เกิดการออสซิลเลตที่มีเสถียรภาพ จากนั้นจึงทำการทดลองวัดคุณสมบัติต่าง ๆ ของวงจรออสซิลเลเตอร์ ที่สร้างขึ้น และ วิเคราะห์ถึงปัญหาบางประการที่เกิดขึ้น เพื่อการพัฒนาต่อไป

ABSTRACT

This project is studied in microstrip periodic structures and its application. This structures provide frequency-selective feedback and it has high stability. We will use this property of microstrip periodic structures to fabricate band-rejection filter circuit. Then the oscillator consists of a Gunn diode placed in microstrip periodic structure are created. After the design principle , the oscillation characteristic of Gunn oscillator is reported. Some problems are discussed for future improvement.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 สายไมโครสตริป	2
2.1.1 สูตรที่ใช้ในการสังเคราะห์ค่าอัตราส่วนความกว้างของแผ่นสตริปต่อความหนาของแผ่นฉนวน	3
2.1.2 สูตรที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะและค่าคงตัวไดอิเล็กตริกประสิทธิผล (ϵ_{eff})	3
2.1.3 การคำนวณค่าเมื่อแผ่นตัวนำของไมโครสตริปมีความหนา	4
2.1.4 การวิเคราะห์ในกรณีที่เกิดผลของความถี่	5
2.2 โครงสร้างแบบพีริโอดิก	7
2.2.1 เมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่น	8
2.2.2 การหาค่าอินพุตแอดมิตแตนซ์ของโครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริป	14
2.2.3 แผนภาพบริลลูอิน หรือ แผนภาพ $k_0 - \beta$	15
2.3 กัมมันต์ไดโอด	17
2.3.1 แท่งความต้านทานคิฟเฟอร์เรนเซิลแบบลบ NDR	17
2.3.2 การสร้างโดเมน	20
2.3.3 โหมดการทำงาน	22
2.3.4 รูปแบบวงจรสมมูลของอุปกรณ์กัมมันต์ไดโอด	23
บทที่ 3 วิธีการออกแบบและผลการคำนวณ	24
3.1 วิธีการออกแบบ	24
3.1.1 เส้นใยการอสซิลเลต	24
3.1.2 การคำนวณหาค่าแอดมิตแตนซ์ของรีโซเนเตอร์ภายนอกไดโอด	25
3.2 ผลการคำนวณ	27
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	37
การทดลองวัดสัญญาณความถี่ของวงจรกัมมันต์ไดโอดที่มีโครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริป	37
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	37
ขั้นตอนการทดลอง	37
ผลการทดลอง	39
สรุปผลการทดลอง	41
ปัญหา และ ข้อเสนอแนะ	42
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	43

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์
บทที่ 5 นี้เป็นการสรุปและวิจารณ์งานวิจัยที่กล่าวมาไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. เมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่น,

ภาคผนวก ข. โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ

ข.1 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรรอกำจัดแอมความถี่

ข.2 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรถักน้อตซิลเลเตอร์

ภาคผนวก ก. กาศาสตร์ของกันวี ไค โอค

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูป 2.1.1 แสดง โครงสร้างและส่วนประกอบของสายไมโครสตริป	2
รูป 2.1.2 แสดงลักษณะของคลื่นที่เดินทางอยู่ในสายไมโครสตริป	3
รูป 2.1.3 แสดงรูปสมมูลระหว่างแผ่นตัวที่มีความหนา (t) และไม่มี ความหนา	4
รูป 2.1.4 (ก) แสดง โครงสร้างของไมโครสตริปความยาว d	5
รูป 2.1.4 (ข) แสดงวงจรสมมูลของไมโครสตริปในรูปแบบสายส่งความยาว d	6
รูป 2.2.1 (ก) สายที่มีการตัดเป็นรูปแบบลูกฟูก	7
รูป 2.2.1 (ข) สายโคแอกเชียลที่มีการใส่ไดอะแฟรมเพิ่มเข้าไป	7
รูป 2.2.2 (ก) แสดงขนาดสัญญาณที่ขั้วของวงจร 2 พอร์ต	8
รูป 2.2.2 (ข) แสดงสัมประสิทธิ์ของเมตริกซ์การส่งผ่านของแอมป์ลิจูดของคลื่นที่แต่ละขั้ว	8
รูป 2.2.3 แสดงลักษณะการต่อกันของวงจร 2 พอร์ต 2 วงจร	9
รูป 2.2.4 แสดง โครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริป 1 คาบ และ วงจรสมมูลในรูปแบบสายส่ง	9
รูป 2.2.5 แสดงการแบ่งโครงสร้างพีริโอดิก 1 คาบ ออกเป็น 5 ส่วน เพื่อหาค่าเมตริกซ์ [A]	10
รูป 2.2.6 แสดงการแบ่งโครงสร้างพีริโอดิก 1 คาบ ออกมาในรูปวงจร 2 พอร์ต	10
รูป 2.2.7 แสดงวงจรสมมูลของโครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริปจำนวน N คาบ	14
รูป 2.3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับ โมเมนต์ของผลึก GaAs	18
รูป 2.3.2 ความสัมพันธ์ในอุณหภูมิตะหว่างความเร็วของอิเล็กตรอนกับสนามไฟฟ้าของ n-type GaAs	19
รูป 2.3.3 แสดง โครงสร้างกัณฑ์โคโอดิกชนิด $n^+ - n - n^+$ GaAs	21
รูป 2.3.4 แสดง โดเมนที่กระจายในแท่ง n-type GaAs	21
รูป 2.3.5 แสดงรูปร่างกระแศที่ขั้วของกัณฑ์ออสซิลเลเตอร์	22
รูป 2.3.6 วงจรสมมูลของกัณฑ์โคโอดิกโดยใช้รูปแบบของฮอปสัน	23
รูป 3.1.1 แสดง โครงสร้างของออสซิลเลเตอร์	24
รูป 3.1.2 แสดงวงจรสมมูลของกัณฑ์ออสซิลเลเตอร์	25
รูป 3.1.3 แสดงวงจรสมมูลของกัณฑ์ออสซิลเลเตอร์เมื่อคิดส่วนของไมโครสตริปยาว $\frac{\lambda_g}{4}$	26
รูป 3.2.1 แสดงวงจรกรองกัณฑ์จัดแถบความถี่ที่มีค่าความยาว 3 คาบ	28
รูป 3.2.2 แสดงวงจรกรองกัณฑ์จัดแถบความถี่ที่มีค่าความยาว 15 คาบ	28
รูป 3.2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของวงจรกรองกัณฑ์จัดแถบความถี่ แบบ 3 คาบ ในช่วงความถี่ 6 GHz ถึง 14 GHz	29
รูป 3.2.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของวงจรกรองกัณฑ์จัดแถบความถี่ แบบ 15 คาบ ในช่วงความถี่ 6 GHz ถึง 14 GHz	29
รูป 3.2.5 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของวงจรกรองกัณฑ์จัดแถบความถี่แบบ 3 คาบ ในช่วงความถี่ 6 GHz ถึง 14 GHz	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.2.6 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของวงจรรอกำจัดแถบความถี่แบบ 15 คาบ ในช่วงความถี่ 6 GHz ถึง 14 GHz	30
รูป 3.2.7 แผนภาพบริลลูอินแสดงค่า βd ของโครงสร้างแบบฟิโอดิก ที่ใช้ในการออกแบบ	32
รูป 3.2.8 แผนภาพบริลลูอินแสดงค่า αd ของโครงสร้างแบบฟิโอดิก ที่ใช้ในการออกแบบ	32
รูป 3.2.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของ โครงสร้างแบบฟิโอดิกที่ใช้ในการออกแบบ	33
รูป 3.2.10 แสดงค่าแอมิตแดนซ์ (γ_p) ของ โครงสร้างแบบฟิโอดิก ที่ทำการออกแบบ เทียบกับ ความถี่	33
รูป 3.2.11 แสดงรูปวงจรถักน้ออสซิลเลเตอร์ต้นแบบ	34
รูป 3.2.12 แสดงขนาดของก้านนำโค โอดที่ใช้สร้างวงจร เปรียบเทียบกับขนาดของตัวเก็บประจุไฟฟ้า	35
รูป 3.2.13 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของ โครงสร้างแบบฟิโอดิก ในไม โครสตริปที่ได้จากการ คำนวณ	35
รูป 4.1 แสดงการต่อวงจรถักน้ออสซิลเลเตอร์ที่มี โครงสร้างแบบฟิโอดิกในไม โครสตริป กับเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่	37
รูป 4.2 แสดงข้อต่อคัสตัญญูแอมระแสดตรง	38
รูป 4.3 แสดงการทดลองวัดคัสตัญญูแอมความถี่ของวงจรถักน้ออสซิลเลเตอร์ที่มี โครงสร้างแบบ ฟิโอดิกในไม โครสตริป	38
รูป 4.4 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างศักดาไฟฟ้าที่ไบอัสกับความถี่ออสซิลเลต	39
รูป 4.5 แสดงกราฟเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้า ไบอัสกับกำลังงานของคัสตัญญูแอม	39
รูป 4.6 แสดงแถบความถี่ที่ได้จากการป้อนศักดา 7 โวลต์ สเตลแกนนอน 10 MHz/Div แกนตั้ง 10 dB/Div	40
รูป 4.7 แสดงแถบความถี่ที่ได้จากการป้อนศักดา 10 โวลต์ สเตลแกนนอน 10 MHz/Div แกนตั้ง 10 dB/Div	40
รูป 4.8 แสดงแถบความถี่ที่ได้จากการป้อนศักดา 15 โวลต์ สเตลแกนนอน 10 MHz /Div แกนตั้ง 10 dB/Div	41

ตาราง 4.1 แสดงค่าความถี่ออสซิลเลต กำลังงานที่ได้ และ เบนด์วิดท์ที่การป้อนศักดาไฟฟ้า
ค่าต่าง ๆ



สัญลักษณ์

$[A]$	เมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิฟายเออร์ของคลื่น
B	ค่าขั้วเซพเตนซ์ของอุปกรณ์
c	ความเร็วแสงในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ 2.99793×10^8 m/s
f	ความถี่ของคลื่นในหน่วย Hz
f_T	ความถี่ตัดของคลื่น TE โหมดลำดับต่ำสุดของไมโครสตริป
G	ค่าความนำของอุปกรณ์
h	ค่าคงที่ของเพลงก์
J	กระแสกระจัด
m	มวลของอิเล็กตรอน
n	จำนวนอิเล็กตรอนในสาร
Q	แฟกเตอร์คุณภาพ
R	สัมประสิทธิ์การสะท้อน
$[S]$	เมตริกซ์การกระเจิงของคลื่น
T	สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน
t	ความหนาของแผ่นสตริป
v	ความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอน
W	ความกว้างของแผ่นสตริป
Y_m	อินพุทแอดมิทแตนซ์
Z	อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ
Z_0	อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของอากาศ มีค่าเท่ากับ 120π โอห์ม
Z_m	อินพุทอิมพีแดนซ์
α	สัมประสิทธิ์การลดทอนของคลื่น
β	ค่าคงที่เฟส
γ	สัมประสิทธิ์การแพร่ของคลื่น มีค่า $\alpha + j\beta$
ϵ_0	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของอากาศ มีค่าเท่ากับ 8.854×10^{-12} F/m
ϵ_r	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์
ϵ_{eff}	ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกประสิทธิผล
λ	ความยาวคลื่น
μ	โมบิลิตีของอิเล็กตรอน
μ_0	ค่าความซึมขามแม่เหล็กของอากาศ มีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-7}$ H/m
ρ	ความหนาแน่นประจุ
σ	ค่าความนำไฟฟ้า
ω	ความถี่เชิงมุม

บทที่ 1

บทนำ

เทคโนโลยีด้านการสื่อสารโทรคมนาคมในปัจจุบัน มีการใช้สัญญาณที่มีความถี่สูงในย่านไมโครเวฟกันมากขึ้นอย่างกว้างขวาง ทั้งในลักษณะการสื่อสารภาคพื้นดิน และการสื่อสารผ่านดาวเทียม ซึ่งสัญญาณที่มีความถี่ย่านไมโครเวฟนี้ มีข้อดีคือสามารถบรรจุข้อมูลข่าวสาร เพื่อส่งไปยังปลายทางได้มากกว่าสัญญาณในช่วงความถี่ต่ำ รวมทั้งความสะดวก รวดเร็ว และข้อได้เปรียบในการใช้งานในลักษณะอื่น ๆ อีกมากมาย

โดยปกติแล้ววงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานในย่านความถี่ต่ำนั้น สามารถสร้างขึ้นโดยใช้อุปกรณ์ที่มี องค์ประกอบแบบก้อน(Lump Element) ได้ แต่อุปกรณ์ที่มีองค์ประกอบแบบก้อน ไม่สามารถนำมาใช้ออกแบบวงจรที่ใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟได้ ดังนั้นจึงมีการใช้คุณสมบัติของสายส่ง(Transmission Line) ที่เป็น วงจรค่าคงตัวกระจาย(Distribution Constant)มาใช้ในการสร้างแทน โดยที่ความถี่และความยาวคลื่นที่ใช้งาน จะมีผลต่อการออกแบบขนาดของอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์ในย่านความถี่ไมโครเวฟอย่างหนึ่ง ได้แก่ ไมโครสตริป(Microstrips)

ไมโครสตริปสามารถนำมาออกแบบสร้างวงจรทางไมโครเวฟได้หลายชนิด เช่น วงจรกรองความถี่(Filter),สายอากาศ(Antenna) และออสซิลเลเตอร์(Oscillator) เป็นต้น ซึ่งการสร้างวงจรที่ใช้งานในย่านความถี่ไมโครเวฟโดยใช้สายไมโครสตริป(Microstrip Lines)นั้น สามารถสร้างได้หลายรูปแบบที่มีโครงสร้างต่างกัน เพื่อให้ได้ผลตอบสนองทางความถี่(Frequency Response)ในลักษณะต่าง ๆ เหมาะสมกับการนำไปใช้งานเฉพาะอย่าง

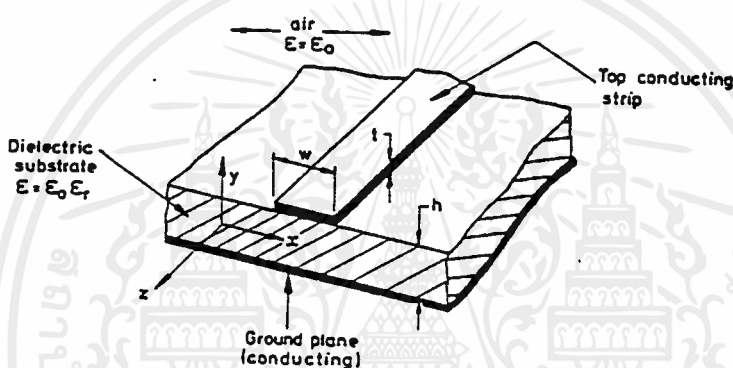
ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะนำเสนอคุณสมบัติโครงสร้างแบบฟีดแบ็คในไมโครสตริปและการประยุกต์ ลักษณะสำคัญของอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างแบบฟีดแบ็ค ก็จะมีโครงสร้างเหมือนกัน และเรียงต่อกันเป็นคาบ ๆ ซึ่งคุณสมบัติของผลตอบสนองทางความถี่ในแต่ละคาบจะมีผลเหมือนกันที่ความถี่เดียวกัน และขั้วเฟสตรงกัน ด้วย ส่งผลให้เกิดการเสริมกันในลักษณะการป้อนกลับแบบบวก(Positive Feedback) ทำให้ผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรโดยรวม มีการสะท้อนของคลื่นที่ความถี่ที่ เก่งนอนและมีความเสถียรภาพสูง ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวของโครงสร้างแบบฟีดแบ็คในไมโครสตริปนั้น สามารถนำไปประยุกต์สร้างเป็นวงจรกรองก้ำจืดแถบความถี่(Band-Rejection Filter) และออสซิลเลเตอร์ได้ ซึ่งในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการสร้างวงจรกรองก้ำจืดแถบความถี่ และ นำคุณสมบัติดังกล่าวมาป้อนกลับให้แก่กันไดโอด ที่เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติความต้านทานแบบลบ โดยจัดวางกันไดโอด ให้ฝังอยู่ในโครงสร้างแบบฟีดแบ็คในไมโครสตริป ทำให้สามารถสร้างเป็นออสซิลเลเตอร์ ในย่านความถี่ไมโครเวฟ ที่มีเสถียรภาพสูงได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สายไมโครสตริป [3],[4]

สายไมโครสตริปเป็นสายส่งที่ใช้ในการออกแบบวงจรที่ใช้งานในย่านความถี่สูงชนิดหนึ่ง ซึ่งลักษณะของสายไมโครสตริปในทางปฏิบัตินั้นจะประกอบไปด้วยแผ่นตัวนำบาง ๆ 2 แผ่นวางขนานกันโดยมีแผ่นไดอิเล็กทริกซับสเตรต (Dielectric Substrate) วางกั้นอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำทั้ง 2 แผ่น โดยที่แผ่นตัวนำทางด้านล่างนั้นจะมีขนาดกว้างกว่าแผ่นตัวนำทางด้านบนมาก ในทางทฤษฎีแล้วแผ่นตัวนำนี้จะมีความหนาเป็นอนันต์ และเรียกว่า กราวนด์เพลน (Ground Plane) ส่วนแผ่นตัวนำทางด้านบนนั้นสามารถจัดทำเป็นรูปร่างต่าง ๆ ตามแต่จะเหมาะสมที่ได้จากการคำนวณเพื่อนำไปใช้งานจริง ส่วนที่อยู่เหนือแผ่นตัวนำด้านบนขึ้นไปจะเป็นอากาศ ซึ่งรูปแบบของสายไมโครสตริปนั้นจะเป็นดังรูปที่ 2.1.1



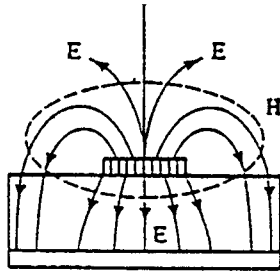
รูป 2.1.1 แสดง โครงสร้างและส่วนประกอบของสายไมโครสตริป

การเดินทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเดินทางอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำทางด้านบนและด้านล่าง ในแผ่นไดอิเล็กทริกซับสเตรต และ อาจจะมีการกระจายออกมาจากบริเวณขอบเขตของสายไมโครสตริปออกไปในอากาศด้วย ซึ่งการวิเคราะห์หาคลื่นที่เดินทางในไมโครสตริปนั้นจะมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นเมื่อความถี่ของคลื่นมีค่าไม่สูงมาก (< 15 GHz) เราสามารถประมาณค่าคลื่นที่เดินทางเป็นคลื่น TEM ได้ เรียกสภาวะนี้ว่า สภาวะคล้ายคลื่น TEM (Quasi-TEM Condition)

คลื่นที่เดินทางอยู่ในสายไมโครสตริปนั้นจะต้องมีการเดินทางผ่านตัวกลาง 2 ชนิดคือ อากาศที่อยู่เหนือแผ่นตัวนำทางด้านบน และแผ่นไดอิเล็กทริกซับสเตรต ดังนั้นการหาค่าคงตัวไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant) จะต้องมีการคำนวณให้เหมือนกับคลื่นเดินทางอยู่ในตัวกลางชนิดเดียว โดยมีค่าคงตัวไดอิเล็กทริกค่าใหม่ เรียกว่า ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกประสิทธิผล (Effective Dielectric Constant)

ในการวิเคราะห์สายไมโครสตริปนี้ ค่าต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์คือ ค่าอิมพีแดนซ์ลักษณะ (Characteristic Impedance) , ค่าอัตราส่วนความกว้างของแผ่นสตริปต่อความหนาของแผ่นซับสเตรต (W/h) และค่าคงตัวไดอิเล็กทริกประสิทธิผล ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นค่าพื้นฐาน ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์โครงสร้างในขั้นต่อไป โดยที่หัวข้อถัดจากนี้จะเป็นสมการที่ใช้ในการสังเคราะห์และวิเคราะห์หาค่าพื้นฐานเหล่านี้เพื่อใช้ในการออกแบบวงจรในขั้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.1.2 แสดงลักษณะของคลื่นที่เดินทางอยู่ในสายไมโครสตริป

2.1.1 สูตรที่ใช้ในการหาค่าอัตรารวส่วนความกว้างของแผ่นสตริปต่อความหนาของแผ่นฉนวน

สูตรนี้จะใช้ได้เมื่อทราบค่าของค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายที่ต้องการแล้ว โดยจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

กรณี $\frac{W}{h} \leq 2$

$$\frac{W}{h} = 4 \left[\frac{1}{2} e^A - e^{-A} \right]^{-1} \quad (2.1.1)$$

เมื่อ

$$A = \pi \sqrt{2(\epsilon_r + 1)} \frac{Z_c}{Z_o} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad (2.1.2)$$

ขณะที่ $Z_o = 120\pi$ ohm

กรณี $\frac{W}{h} \geq 2$

$$\frac{W}{h} = \frac{\epsilon_r - 1}{\pi \epsilon_r} \left[\log(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] + \frac{2}{\pi} [B - 1 - \log(2B - 1)] \quad (2.1.3)$$

เมื่อ

$$B = \frac{\pi}{2\sqrt{\epsilon_r}} \frac{Z_o}{Z_c} \quad (2.1.4)$$

โดยที่สมการข้างต้นนี้จะมีความผิดพลาดไม่เกิน 1 %

2.1.2 สูตรที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะและค่าคงตัวไดอิเล็กตริกประสิทธิผล (ϵ_{eff})

สูตรนี้จะใช้ได้เมื่อทราบค่าของอัตราส่วนความกว้างของแผ่นสตริปต่อความหนาของฉนวนแล้ว โดยจะแบ่งออกมาได้เป็นกรณีดังนี้คือ

กรณี $\frac{W}{h} \leq 1$

$$Z_o = \frac{\eta}{2\pi\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8h}{W} + 0.25 \frac{W}{h} \right) \quad (2.1.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{กรณี } \frac{W}{h} \geq 1$$

$$Z_o = \frac{\eta}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \left[\frac{W}{h} + 1393 + 0.677 \ln \left(\frac{W}{h} + 1444 \right) \right]^{-1} \quad (2.1.6)$$

$$\text{โดยที่ } \eta = 120\pi \text{ ohm}$$

ส่วนค่าคงตัวไดอิเล็กทริกประสิทธิผล ซึ่งในที่นี้ใช้สัญลักษณ์ ϵ_{eff} สามารถหาได้จากสูตร

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 10 \frac{h}{W} \right)^{-1/2} \quad (2.1.7)$$

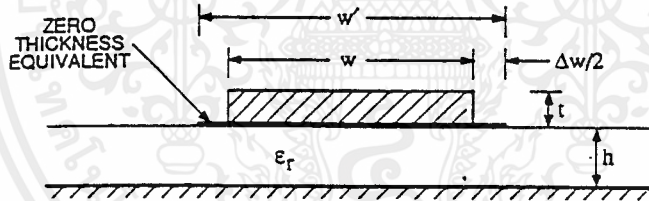
เมื่อ ϵ_r คือ ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ (Relative Dielectric Constant)

ค่าผิดพลาดสัมพัทธ์ใน ϵ_{eff} และใน Z_o จะมีค่าน้อยกว่า 2 %

2.1.3 การคำนวณค่าเมื่อแผ่นตัวนำของไมโครสตริปมีความหนา [7]

ในทางทฤษฎีแล้ว เรากำหนดว่าแผ่นตัวนำของไมโครสตริปนั้นมีความหนาเป็น 0 แต่ในทางความเป็นจริงแล้วนั้น แผ่นตัวนำทางด้านบนของไมโครสตริปมีความหนาอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะต้องนำมาคำนวณเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องมากขึ้น โดยในการคำนวณจะคิดให้แผ่นตัวนำนั้นมีความกว้างมากกว่าเดิม ΔW ทำให้แผ่นตัวนำนั้นมีความกว้างเป็นคังสมการที่ 2.1.8

$$W' = W + \Delta W \quad (2.1.8)$$



รูป 2.1.3 แสดงรูปสมมูลระหว่างแผ่นตัวที่มีความหนา (t) และ ไม่มีความหนา

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่า W' นั้นแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

$$\text{กรณี } \frac{W}{h} \leq \frac{1}{2\pi}$$

$$\frac{W'}{h} = \frac{W}{h} + \frac{1.25t}{\pi h} \left[1 + \ln \left(\frac{4\pi W}{t} \right) \right] \quad (2.1.9)$$

$$\text{กรณี } \frac{W}{h} \geq \frac{1}{2\pi}$$

$$\frac{W'}{h} = \frac{W}{h} + \frac{1.25t}{\pi h} \left[1 + \ln \left(\frac{2h}{t} \right) \right] \quad (2.1.10)$$

ส่วนค่าคงตัวไดอิเล็กทริกประสิทธิผลนั้นคำนวณได้จากสมการ

$$\varepsilon_{eff}' = \varepsilon_{eff} + \frac{\varepsilon_r - 1}{4.6} \left[\frac{t/h}{\sqrt{W/h}} \right] \quad (2.1.11)$$

ซึ่งค่า ε_{eff} หาได้จากสมการ 2.1.7

2.1.4 การวิเคราะห์ในกรณีที่เกิดผลของความถี่ [8]

เป็นวิธีคิดที่มีความแม่นยำสูงยิ่งขึ้นโดยใช้วิธี เรียกว่า รูปแบบตัดเทียมแบบท่อนำคลื่นเชิงระนาบ (Planar Waveguide) โดยที่รูปแบบนี้ไมโครสตริปจะแสดงตัวเป็นท่อนำคลื่นแบบแผ่นตัวนำคู่ที่กว้าง W_e และ สูง h และแผ่นตัวนำบนและล่างมีความนำเป็นอนันต์ และมีกำแพงแม่เหล็กอยู่ในตัว ซึ่งตัวกลางนั้นจะมีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกประสิทธิผลเป็น ε_{eff} ซึ่งมีค่าที่ความถี่ศูนย์เท่ากับสมการ 2.1.7 โดยที่ค่า W_e ที่ความถี่ศูนย์ได้มาจากสมการ

$$W_e = \frac{120\pi h}{Z_o \sqrt{\varepsilon_{eff}(0)}} \quad (2.1.12)$$

ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะที่ความถี่ศูนย์จากรูปแบบท่อนำคลื่นเชิงระนาบจะมีค่าเป็น

$$Z_o = \frac{120\pi h}{W_e(0) \sqrt{\varepsilon_{eff}(0)}} \quad (2.1.13)$$

การหาค่าคงตัวไดอิเล็กตริกประสิทธิผลที่ขึ้นกับความถี่ ($\varepsilon_{eff}(f)$) นั้นหาได้จากสูตร

$$\varepsilon_{eff}(f) = \varepsilon_r - \frac{\varepsilon_r - \varepsilon_{eff}}{1 + (f/f_T)^2} \quad (2.1.14)$$

ซึ่ง f_T นั้น คือ ค่าความถี่ตัดของคลื่น TE โหมด ลำดับต่ำสุดของไมโครสตริปมีค่าเป็น

$$f_T = \frac{c}{2(W + \Delta W) \sqrt{\varepsilon_r}} \quad (2.1.15)$$

เมื่อ c เป็นค่าความเร็วแสงในสุญญากาศ และ ΔW เป็นผลของสนามที่ขอบของแผ่นตัวนำมีค่าเป็น

$$W + \Delta W = \frac{h \sqrt{\varepsilon_{eff}}}{Z_o c \varepsilon_o \varepsilon_r} \quad (2.1.16)$$

เมื่อค่า Z_o เป็นค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของไมโครสตริปที่ความถี่ศูนย์ และ ε_r เป็นค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์

ส่วนการหาค่า W_{eff} ที่ขึ้นกับความถี่นั้นหาได้จากสูตร

$$W_{eff}(f) = W - \frac{W_e - W}{1 + (f/f_T)^2} \quad (2.1.17)$$

เมื่อ ค่า W หาได้จากสมการ 2.1.1 และ 2.1.3 ส่วน W_e หาได้จากสมการ 2.1.12

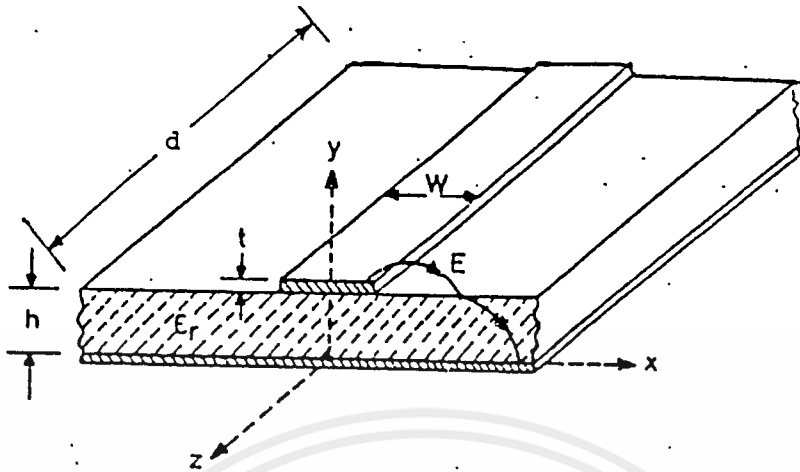
จากค่าทั้งสองที่หามาทำให้เราสามารถหาค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะที่แปรตามความถี่ โดยใช้โครงสร้างแบบท่อนำคลื่นเชิงระนาบได้เป็น

$$Z_o(f) = \frac{120\pi h}{W_{eff}(f) \sqrt{\varepsilon_{eff}(f)}} \quad (2.1.18)$$

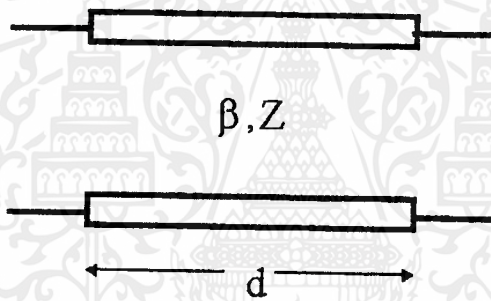
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์วงจรทั่วไปนั้นเราจะแทนไมโครสตริปนั้นด้วยวงจรสมมูลที่เป็นลักษณะของสายส่งจังกงรูป

2.1.4



รูป 2.1.4 (ก) แสดงโครงสร้างของไมโครสตริปความยาว d



รูป 2.1.4 (ข) แสดงวงจรสมมูลของไมโครสตริปในรูปแบบสายส่งความยาว d

ถ้า Z นั้นหาได้จากสมการที่ 2.1.18 ส่วนค่า β นั้นเป็นค่าคงที่เฟส (Phase Constant) หาได้จากสมการ

$$\beta = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_{eff}} \quad (2.1.19)$$

เมื่อ ω เป็นค่าความถี่เชิงมุม (Angular Frequency) มีค่า $2\pi f$ (radian/sec)

μ_0 เป็นค่าความซึมซาบแม่เหล็กของอากาศ (Permeability of Free Space) มีค่า $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

2.2 โครงสร้างแบบพรีโอคิก [1]

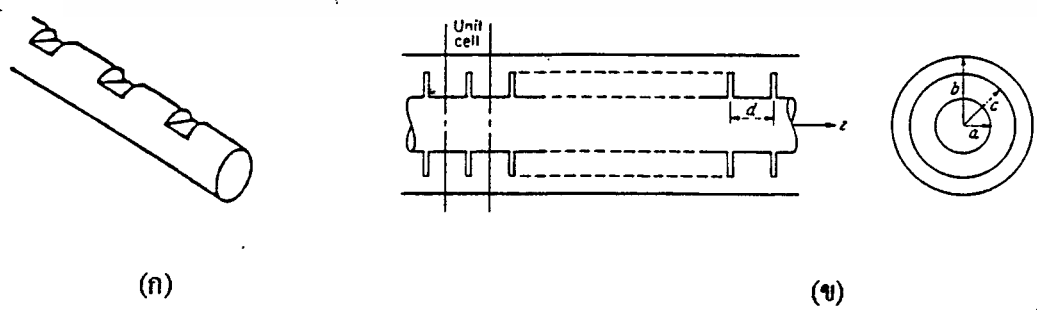
ท่อนำคลื่น(Waveguide) และสายส่ง ที่มีลักษณะหรือรูปแบบที่ซ้ำ ๆ กันเป็นคาบ ๆ โดยที่แต่ละคาบนั้น ๆ มีลักษณะของสิ่งกีดขวางหรือสิ่งที่ใส่เข้ามาเหมือน ๆ กัน เช่น อุปกรณ์ชนิดรีแอคทีฟ (Reactive Element) จำพวก โคอะเฟรม(Diaphragm) เป็นต้น โครงสร้างชนิดนี้จะมีรูปแบบซ้ำ ๆ กันไปเป็นจำนวน N คาบ และ จะเรียก โครงสร้างชนิดนี้ว่า “โครงสร้างแบบพรีโอคิก” โดยที่โครงสร้างชนิดนี้มีความน่าสนใจอยู่ 2 อย่างคือ

1. คุณสมบัติของช่วงผ่านและช่วงหยุด (Passband and Stopband Characteristic)
2. สามารถใช้กับคลื่นที่มีค่าความเร็วเฟส(Phase Velocity) ที่มีค่าน้อยกว่าความเร็วของแสงมาก ๆ ได้

คุณสมบัติของช่วงผ่านและช่วงหยุดนั้นจะเกี่ยวข้องกับช่วงของความถี่(Frequency Bands) ของคลื่นที่มีการแพร่กระจาย(Propagate) โดยไม่มีการลดทอนเกิดขึ้น (ยกเว้นการสูญเสียของคลื่นที่เกิดขึ้นในตัวนำ(Conductor Loss)) ตลอดทั่วทั้งโครงสร้าง และ ในช่วงคลื่นที่ถูกตัด และ ไม่เกิดการแพร่กระจายของคลื่นขึ้น โดยในกรณีแรกนั้นจะเรียกว่า “ช่วงผ่าน(Passband)” ส่วนในกรณีหลังนั้นจะเรียกว่า “ช่วงหยุด(Stopband)” คุณสมบัติของช่วงผ่านและช่วงหยุดนี้เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่สามารถนำมาสร้างเป็นวงจรกรองความถี่ชนิดวงจรกรองค่าจัดแถบความถี่ได้

ความสามารถของ โครงสร้างแบบพรีโอคิกที่สามารถใช้กับคลื่นที่มีค่าความเร็วเฟสต่ำกว่าความเร็วของแสงมาก ๆ ได้นั้น ก็เป็นคุณสมบัติพื้นฐานของวงจรหลอดคลื่นเคลื่อนที่ (Traveling Wave Tube) โดยที่วงจรนี้ ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาระหว่างลำอิเล็กตรอน (Electron Beam) และ สนามแม่เหล็ก ไฟฟ้า(Electromagnetic Field) จะทำขึ้น ได้ก็ต่อเมื่อค่าความเร็วเฟสนั้นมีค่าเท่ากับความเร็วลำแสง(Beam Velocity) ซึ่งความเร็วค่านี้จะมีค่าอยู่ที่ไม่เกิน 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วของแสง โดยค่าความเร็วนี้จะทำได้โดยการลดความเร็วของคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าลงมาเพื่อให่วงจรทำงานได้

ในการวิเคราะห์วงจรที่มีโครงสร้างแบบพรีโอคิกนี้ จะเริ่มทำการวิเคราะห์โดยทำการแบ่งวงจรออกมา เป็น คาบที่เล็กที่สุดที่มี โครงสร้างเหมือนกันก่อน แล้วจึงทำการวิเคราะห์วงจรที่แยกออกมาเพียงคาบเดิวนั้น ซึ่งคาบที่เล็กที่สุดนี้จะเรียกว่า “ยูนิตเซล(Unit Cell)” จากนั้นจึงทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและ ความต่าง ศักย์ของคลื่นที่เดินทางอยู่ตลอดทั้งวงจรที่นำยูนิตเซลมาต่อกันแบบแคสเคด(Cascade) โดยที่จะเรียกคลื่นที่มีการแพร่กระจายไปตลอด โครงสร้างแบบพรีโอคิกว่า “บล็อสเวฟ (Bloch Wave)”



รูป 2.2.1 แสดงตัวอย่างรูปแบบ โครงสร้างแบบพรีโอคิก

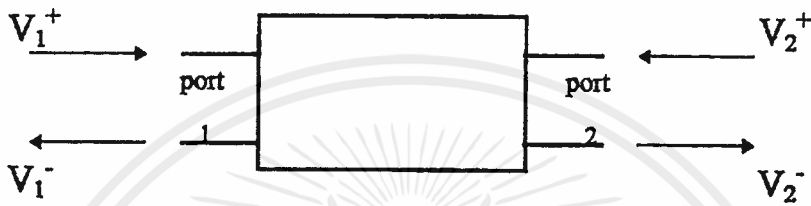
(ก) สายที่มีการตัดเป็นรูปแบบลูกฟูก

(ข) สายโคแอกเซียลที่มีการใส่โคอะเฟรมเพิ่มเข้าไป

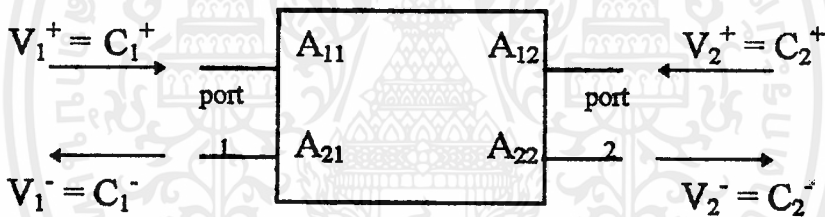
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 แมทริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่น (Wave - Amplitude Transmission Matrix)

โครงสร้างแบบพรีโอดิกนี้สามารถวิเคราะห์ออกมาในรูปของคลื่นที่มีการแพร่กระจายไปข้างหน้าและย้อนกลับ (Forward - Propagating and Backward - Propagating Waves) ของแต่ละพอร์ทได้เช่นกัน โดยเขียนโครงสร้างแบบพรีโอดิกในรูปของวงจร 2 พอร์ท (Two - Port Network) โดยเขียนศักดาที่ขั้วของวงจรแทนคลื่นที่ตกกระทบ และ คลื่นที่สะท้อนกลับ ที่มีขนาด และ เฟสอ้างอิงที่อินพุทเป็น V_1^+ กับ V_1^- ดังแสดงในรูปที่ 2.2.2(ก) โดยที่เครื่องหมาย + แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นตกกระทบ และ เครื่องหมาย - แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นสะท้อน



รูป 2.2.2 (ก) แสดงขนาดสัญญาณที่ขั้วของวงจร 2 พอร์ท



รูป 2.2.2 (ข) แสดงสัมประสิทธิ์ของแมทริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่นที่แต่ละขั้ว

จากรูปวงจรในรูปที่ 2.2.2. (ก) นั้นเราสามารถเขียนลักษณะตัวแปรที่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นได้ โดยกำหนดให้

$$c_1^+ = V_1^+ \quad , \quad c_1^- = V_1^-$$

$$\text{และ} \quad c_2^+ = V_2^+ \quad , \quad c_2^- = V_2^- \quad (2.2.1)$$

โดยที่เครื่องหมายของตัวแปร C ที่เป็น + นั้น แสดงขนาดของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปทางขวามือ และ เครื่องหมาย - หมายถึงขนาดของคลื่นที่เคลื่อนที่ไปทางซ้ายมือ เราสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของคลื่นที่อินพุทอยู่ในเทอมของขนาดของคลื่นที่เอาต์พุท ได้ดังนี้

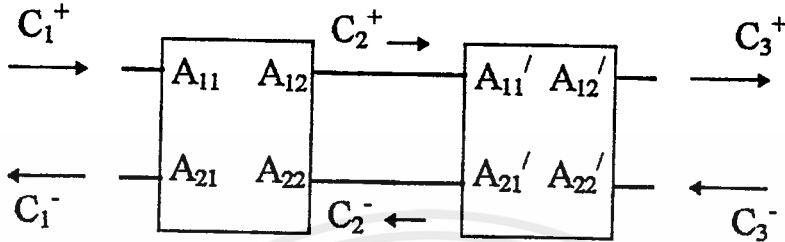
$$c_1^+ = A_{11}c_2^+ + A_{12}c_2^- \quad (2.2.2)$$

$$c_1^- = A_{21}c_2^+ + A_{22}c_2^- \quad (2.2.3)$$

โดยที่ค่า A_{ij} เป็นค่าคงที่ของคุณสมบัติของสัญญาณที่แต่ละขั้ว เราเรียก A_{ij} ว่าเป็น สัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่น และ เมื่อเขียนอยู่ในรูปของแมทริกซ์จะ ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} c_1^+ \\ c_1^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_2^+ \\ c_2^- \end{bmatrix} \quad (2.2.4)$$

เราเรียกเมตริกซ์ $[A]$ นี้ว่า เมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิฟิเคชันของคลื่น และ สำหรับกรณีที่มีการต่อแบบแคสเคด กันสองวงจรดังรูปที่ 2.2.3 นั้น เราสามารถหาเมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิฟิเคชันของคลื่นได้โดยการคูณเมตริกซ์ $[A]$ ของแต่ละวงจรเข้าด้วยกัน ดังนี้



รูป 2.2.3 แสดงลักษณะการต่อกันของวงจร 2 พอร์ต 2 วงจร

$$\begin{bmatrix} c_1^+ \\ c_1^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{11}' & A_{12}' \\ A_{21}' & A_{22}' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_3^+ \\ c_3^- \end{bmatrix} \quad (2.2.5)$$

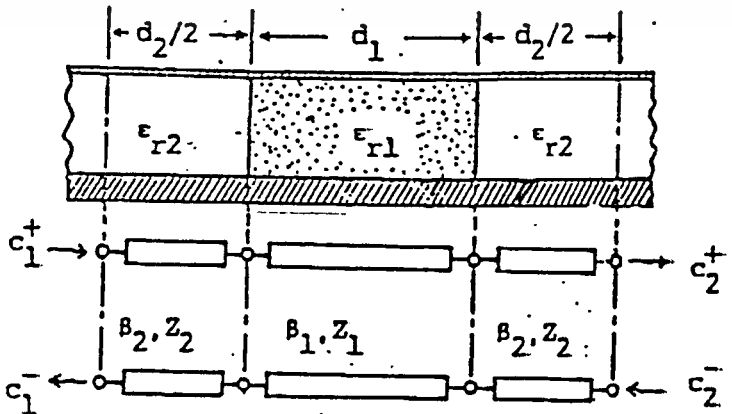
เมื่อคูณเมตริกซ์ $[A]$ ของแต่ละวงจรเข้าด้วยกันแล้ว เราสามารถเขียนเป็นรูปสมการทั่วไปสำหรับกรณีที่มีหลายวงจรต่อแคสเคดกัน ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} c_1^+ \\ c_1^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{A}_{11} & \tilde{A}_{12} \\ \tilde{A}_{21} & \tilde{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{n+1}^+ \\ c_{n+1}^- \end{bmatrix} \quad (2.2.6)$$

จากเมตริกซ์ทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ ในวงจรที่ไม่มีอุปกรณ์ชนิดแอคทีฟ (Active Devices) เราจะสามารถหาค่าดีเทอร์มิแนนต์ ของเมตริกซ์ $[A]$ มีค่าเท่ากับหนึ่งเสมอ หรือ

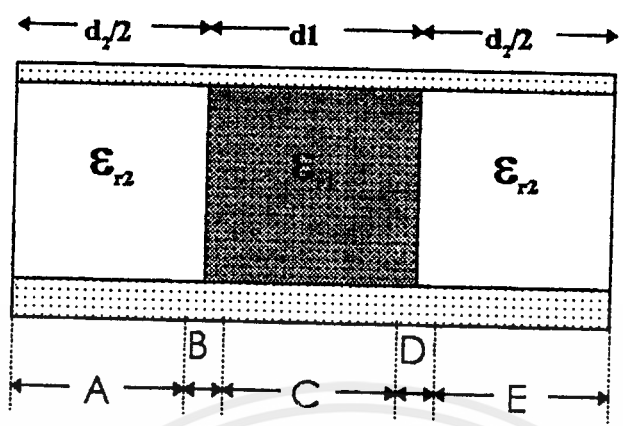
$$A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21} = 1 \quad (2.2.7)$$

สำหรับ โครงสร้างแบบฟิสิกส์ในไมโครสตริปที่นำเสนอในปริภูมิพหุคูณนั้น จะใช้ลักษณะของไมโครสตริปที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยในแต่ละคาบนั้นจะทำการแปรค่าของสารที่ใช้เป็นสารไดอิเล็กตริก-ซับสเตรต ให้ต่างกัน ไปจำนวน 2 ชนิด ซึ่งสารไดอิเล็กตริกแต่ละชนิดนั้นจะมีค่าความยาวต่อคาบต่าง ๆ กัน โดยที่ลักษณะ โครงสร้างของไมโครสตริปที่เบงออกมาใน 1 คาบนั้นแสดงได้ดังรูป 2.2.4

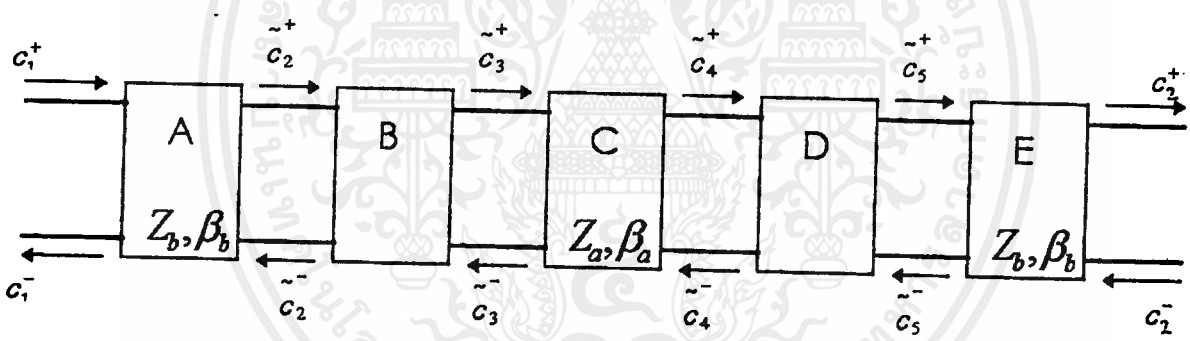


รูป 2.2.4 แสดงโครงสร้างแบบฟิสิกส์ในไมโครสตริป 1 คาบ และ วงจรสมมูลในรูปแบบสายส่งสำหรับการคำนวณการเป็นเอกลักษณ์ของคลื่นในสเปกตรัมการนำไฟฟ้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาค่าเมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่น ของโครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริป จำนวน 1 คาบนี้เราสามารถหาได้โดยทำการแบ่ง โครงสร้าง 1 คาบนี้ออกเป็น 5 ส่วนแสดง ได้ดังรูป 2.2.5



รูป 2.2.5 แสดงการแบ่ง โครงสร้างพีริโอดิก 1 คาบ ออกเป็น 5 ส่วน เพื่อหาค่าเมตริกซ์ [A] เพื่อให้เหมาะสมกับการหาเมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่นนั้น เราจะเขียนรูป โครงสร้าง 1 คาบนี้ใหม่ในรูปของวงจร 2 พอร์ต ซึ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.2.6



รูป 2.2.6 แสดงการแบ่ง โครงสร้างพีริโอดิก 1 คาบ ออกมาเป็นรูปวงจร 2 พอร์ต

จากหลักการที่ว่าขนาดของคลื่นที่แพร่ในสายส่งนั้น จะมีลักษณะการแปร ไปของคลื่นด้วยสัดส่วน $e^{j\beta z}$ และจากรูปที่ 2.2.6 เราสามารถหาขนาดการส่งผ่านของคลื่นในวงจรส่วน A ได้เป็น

$$c_2^+ = c_1^+ e^{-j\beta_b d_2/2} \tag{2.2.7}$$

$$c_2^- = c_1^- e^{+j\beta_b d_2/2} \tag{2.2.8}$$

เมื่อเขียนอยู่ในรูปของเมตริกซ์จะได้เป็น

$$\begin{bmatrix} c_1^+ \\ c_1^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{+j\beta_b d_2/2} & 0 \\ 0 & e^{-j\beta_b d_2/2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_2^+ \\ c_2^- \end{bmatrix} \tag{2.2.9}$$

สำหรับขนาดการส่งผ่านของคลื่นในวงจรส่วน B ซึ่งเป็นส่วนที่สองและเป็นรอยต่อระหว่างไมโครสตริป ที่มีตัวไดอิเล็กทริกขั้วแปรเป็น ϵ_{r1} และ ϵ_{r2} และ จากหลักการที่ว่าศักดา และ กระแสตรงรอยต่อมีความต่อเนื่องกัน ดังนั้นศักดาที่รอยต่อจะมีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sqrt{Z_b} \begin{pmatrix} \sim^+ \\ c_2 + c_2 \\ \sim^- \end{pmatrix} = \sqrt{Z_a} \begin{pmatrix} \sim^+ \\ c_3 + c_3 \\ \sim^- \end{pmatrix} \quad (2.2.10)$$

และ กระแสที่รอยต่อจะมีค่าเป็น

$$\frac{1}{\sqrt{Z_b}} \begin{pmatrix} \sim^+ \\ c_2 - c_2 \\ \sim^- \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{Z_a}} \begin{pmatrix} \sim^+ \\ c_3 - c_3 \\ \sim^- \end{pmatrix} \quad (2.2.11)$$

หรือ

$$\sqrt{Z_a} \begin{pmatrix} \sim^+ \\ c_2 - c_2 \\ \sim^- \end{pmatrix} = \sqrt{Z_b} \begin{pmatrix} \sim^+ \\ c_3 - c_3 \\ \sim^- \end{pmatrix} \quad (2.2.12)$$

นำ ((2.2.11) x $\sqrt{Z_a}$) + ((2.2.12) x $\sqrt{Z_b}$) จะ ได้

$$c_2^{\sim^+} = \frac{(Z_a + Z_b) c_3^{\sim^+}}{2\sqrt{Z_a Z_b}} + \frac{(Z_a - Z_b) c_3^{\sim^-}}{2\sqrt{Z_a Z_b}} \quad (2.2.13)$$

นำ ((2.2.11) x $\sqrt{Z_a}$) - ((2.2.12) x $\sqrt{Z_b}$) จะ ได้

$$c_2^{\sim^-} = \frac{(Z_a - Z_b) c_3^{\sim^+}}{2\sqrt{Z_a Z_b}} + \frac{(Z_a + Z_b) c_3^{\sim^-}}{2\sqrt{Z_a Z_b}} \quad (2.2.14)$$

จากสมการที่ (2.2.13) และ (2.2.14) นำมาเขียนอยู่ในรูปเมตริกซ์จะ ได้ดังสมการ

$$\begin{bmatrix} c_2^{\sim^+} \\ c_2^{\sim^-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(Z_a + Z_b)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} & \frac{(Z_a - Z_b)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} \\ \frac{(Z_a - Z_b)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} & \frac{(Z_a + Z_b)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_3^{\sim^+} \\ c_3^{\sim^-} \end{bmatrix} \quad (2.2.15)$$

ในส่วน C นั้นจะมีส่วนประกอบเหมือนกับส่วน A แต่จะเปลี่ยนค่าของ $\beta_b, d_2/2$ มาเป็นค่าของ β_a, d_1 แทนดังนั้นจะได้เมตริกซ์คือ

$$\begin{bmatrix} c_3^{\sim^+} \\ c_3^{\sim^-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{+j\beta_a d_1} & 0 \\ 0 & e^{-j\beta_a d_1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_4^{\sim^+} \\ c_4^{\sim^-} \end{bmatrix} \quad (2.2.16)$$

ในส่วน D สามารถพิสูจน์ค่าความต่อเนื่องของกระแส และความต่างศักย์ได้ในลักษณะเดียวกับส่วน B ดังนั้นจะได้เมตริกซ์คือ

$$\begin{bmatrix} c_4^{\sim^+} \\ c_4^{\sim^-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(Z_a + Z_b)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} & \frac{(Z_b - Z_a)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} \\ \frac{(Z_b - Z_a)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} & \frac{(Z_a + Z_b)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_5^{\sim^+} \\ c_5^{\sim^-} \end{bmatrix} \quad (2.2.17)$$

ในส่วน E จะมีลักษณะของเมตริกซ์เหมือนกับส่วน A ดังนั้นจะมีลักษณะของเมตริกซ์เป็นดังสมการ

$$\begin{bmatrix} c_5^{\sim^+} \\ c_5^{\sim^-} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j\beta_b d_2/2} & 0 \\ 0 & e^{-j\beta_b d_2/2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_2^+ \\ c_2^- \end{bmatrix} \quad (2.2.18)$$

เราสามารถเขียนเป็นเมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่น ของโครงสร้างแบบทวิโอดิกในไมโครสตริป 1 กาบนี้ ได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} c_1^+ \\ c_1^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & C & D & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_2^+ \\ c_2^- \end{bmatrix} \quad (2.2.19)$$

โดยในการคูณเมตริกซ์ในที่นี้จะทำการคูณจากข้างหลังไปข้างหน้าทีละขั้น โดยในการคูณแต่ละครั้งจะได้ผลการคูณออกมาดังนี้คือ

$$DE = \begin{bmatrix} \frac{(Z_a + Z_b)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} e^{j\beta_v d_2/2} & \frac{(Z_b - Z_a)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} e^{-j\beta_v d_2/2} \\ \frac{(Z_b - Z_a)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} e^{j\beta_v d_2/2} & \frac{(Z_a + Z_b)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} e^{-j\beta_v d_2/2} \end{bmatrix}$$

$$CDE = \begin{bmatrix} \frac{(Z_a + Z_b)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} e^{j\beta_v d_2/2} e^{j\beta_v d_1} & \frac{(Z_b - Z_a)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} e^{-j\beta_v d_2/2} e^{j\beta_v d_1} \\ \frac{(Z_b - Z_a)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} e^{j\beta_v d_2/2} e^{-j\beta_v d_1} & \frac{(Z_a + Z_b)}{2\sqrt{Z_a Z_b}} e^{-j\beta_v d_2/2} e^{-j\beta_v d_1} \end{bmatrix}$$

ในส่วนการคูณกันของ BCDE นั้นจะแบ่งออกค่าออกมาได้ดังนี้

$$\text{ในแถวที่ 1 หลักที่ 1} = \frac{(Z_a + Z_b)^2}{4Z_a Z_b} e^{j\beta_v d_2/2} e^{j\beta_v d_1} + \frac{(Z_a - Z_b)(Z_b - Z_a)}{4Z_a Z_b} e^{j\beta_v d_2/2} e^{-j\beta_v d_1}$$

$$\text{ในแถวที่ 1 หลักที่ 2} = \frac{(Z_a + Z_b)(Z_b - Z_a)}{4Z_a Z_b} e^{-j\beta_v d_2/2} e^{j\beta_v d_1} + \frac{(Z_a + Z_b)(Z_a - Z_b)}{4Z_a Z_b} e^{-j\beta_v d_2/2} e^{-j\beta_v d_1}$$

$$\text{ในแถวที่ 2 หลักที่ 1} = \frac{(Z_a + Z_b)(Z_a - Z_b)}{4Z_a Z_b} e^{j\beta_v d_2/2} e^{j\beta_v d_1} + \frac{(Z_a + Z_b)(Z_b - Z_a)}{4Z_a Z_b} e^{j\beta_v d_2/2} e^{-j\beta_v d_1}$$

$$\text{ในแถวที่ 2 หลักที่ 2} = \frac{(Z_a - Z_b)(Z_b - Z_a)}{4Z_a Z_b} e^{-j\beta_v d_2/2} e^{j\beta_v d_1} + \frac{(Z_a + Z_b)^2}{4Z_a Z_b} e^{-j\beta_v d_2/2} e^{-j\beta_v d_1}$$

หลังจากนี้นำผลที่ได้มาคูณกับ A จะได้ผลของ ABCDE แบ่งออกมาเป็น 4 ส่วนคือ

$$\text{ในแถวที่ 1 หลักที่ 1} = \left[\frac{(Z_a + Z_b)^2}{4Z_a Z_b} e^{j\beta_v d_1} - \frac{(Z_a - Z_b)^2}{4Z_a Z_b} e^{-j\beta_v d_1} \right] e^{j\beta_v d_2} = A_{11} \quad (2.2.20)$$

$$\text{ในแถวที่ 1 หลักที่ 2} = -\frac{(Z_a^2 - Z_b^2)}{4Z_a Z_b} e^{j\beta_v d_1} + \frac{(Z_a^2 - Z_b^2)}{4Z_a Z_b} e^{-j\beta_v d_1} = A_{12} \quad (2.2.21)$$

$$\text{ในแถวที่ 2 หลักที่ 1} = \frac{(Z_a^2 - Z_b^2)}{4Z_a Z_b} e^{j\beta_v d_1} - \frac{(Z_a^2 - Z_b^2)}{4Z_a Z_b} e^{-j\beta_v d_1} = A_{21} \quad (2.2.22)$$

$$\text{ในแถวที่ 2 หลักที่ 2} = \left[-\frac{(Z_a - Z_b)^2}{4Z_a Z_b} e^{j\beta_v d_1} - \frac{(Z_a + Z_b)^2}{4Z_a Z_b} e^{-j\beta_v d_1} \right] e^{-j\beta_v d_2} = A_{22} \quad (2.2.23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่าจากสมการที่ (2.2.20) - (2.2.23) นั้น จะอยู่ในรูปที่ยังดูยากอยู่ ดังนั้นจะทำการจัดรูปแบบของสมการใหม่ เพื่อให้อยู่ในรูปที่ง่ายขึ้นดังนี้

จากสมการ(2.2.20)

$$\begin{aligned} A_{11} &= \frac{e^{j\beta_b d_2}}{4Z_a Z_b} \left[Z_a^2 (e^{j\beta_a d_1} - e^{-j\beta_a d_1}) + Z_b^2 (e^{j\beta_a d_1} - e^{-j\beta_a d_1}) + 2Z_a Z_b (e^{j\beta_a d_1} + e^{-j\beta_a d_1}) \right] \\ &= \left[\cos(\beta_a d_1) \cos(\beta_b d_2) - \frac{1}{2} \left(\frac{Z_a}{Z_b} + \frac{Z_b}{Z_a} \right) \sin(\beta_a d_1) \sin(\beta_b d_2) \right] + \\ & \quad j \left[\cos(\beta_a d_1) \sin(\beta_b d_2) + \frac{1}{2} \left(\frac{Z_a}{Z_b} + \frac{Z_b}{Z_a} \right) \sin(\beta_a d_1) \cos(\beta_b d_2) \right] \end{aligned} \quad (2.2.24)$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ(2.2.21)} \quad A_{12} &= \frac{Z_a^2 - Z_b^2}{4Z_a Z_b} (-e^{j\beta_a d_1} + e^{-j\beta_a d_1}) \\ &= -j \frac{1}{2} \left(\frac{Z_a}{Z_b} - \frac{Z_b}{Z_a} \right) \sin(\beta_a d_1) \end{aligned} \quad (2.2.25)$$

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ(2.2.22)} \quad A_{21} &= \frac{Z_a^2 - Z_b^2}{4Z_a Z_b} (e^{j\beta_a d_1} - e^{-j\beta_a d_1}) \\ &= j \frac{1}{2} \left(\frac{Z_a}{Z_b} - \frac{Z_b}{Z_a} \right) \sin(\beta_a d_1) \end{aligned} \quad (2.2.26)$$

จากสมการ(2.2.23)

$$\begin{aligned} A_{22} &= \frac{e^{j\beta_b d_2}}{4Z_a Z_b} \left[Z_a^2 (-e^{j\beta_a d_1} + e^{-j\beta_a d_1}) + Z_b^2 (-e^{j\beta_a d_1} + e^{-j\beta_a d_1}) + 2Z_a Z_b (e^{j\beta_a d_1} + e^{-j\beta_a d_1}) \right] \\ &= \left[\cos(\beta_a d_1) \cos(\beta_b d_2) - \frac{1}{2} \left(\frac{Z_a}{Z_b} + \frac{Z_b}{Z_a} \right) \sin(\beta_a d_1) \sin(\beta_b d_2) \right] - \\ & \quad j \left[\cos(\beta_a d_1) \sin(\beta_b d_2) + \frac{1}{2} \left(\frac{Z_a}{Z_b} + \frac{Z_b}{Z_a} \right) \sin(\beta_a d_1) \cos(\beta_b d_2) \right] \end{aligned} \quad (2.2.27)$$

เมื่อค่า Z_a, Z_b เป็นค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของไมโครสตริปยาว d_1, d_2 ตามลำดับ ซึ่งหาได้จากสมการ 2.1.18

และ β_a, β_b เป็นค่าคงที่เฟสของไมโครสตริปยาว d_1, d_2 ตามลำดับ ซึ่งหาได้จากสมการ 2.1.19

หลังจากได้ค่า $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}$ แล้วนำมาเข้าเมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่นตามสมการที่ (2.2.4) คือ

$$\begin{bmatrix} c_n^+ \\ c_n^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{n+1}^+ \\ c_{n+1}^- \end{bmatrix} \quad (2.2.28)$$

สำหรับเมตริกซ์ของการส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่น ของไมโครสตริป 1 กาบสามารถหาได้จากสมการที่ (2.2.24) - (2.2.27) ดังนั้นเมื่อต้องการทราบค่าทั้ง N กาบก็สามารถทำได้โดยการคูณเมตริกซ์นี้เข้าด้วยกัน

จำนวน N ครั้งดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} c_1^+ \\ c_1^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{A}_{11} & \tilde{A}_{12} \\ \tilde{A}_{21} & \tilde{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{n+1}^+ \\ c_{n+1}^- \end{bmatrix} = [A]^N \begin{bmatrix} c_{n+1}^+ \\ c_{n+1}^- \end{bmatrix} \quad (2.2.29)$$

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ $[S]$ เมตริกซ์ในภาคผนวก ก. นั้นเราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflection Coefficient) และ สัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmission Coefficient) ได้ดังสมการ

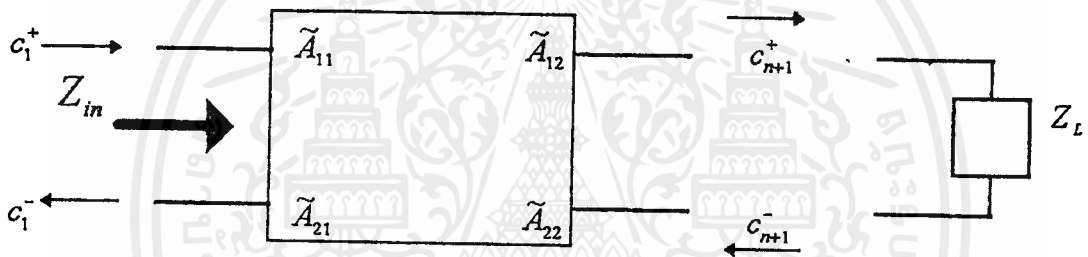
$$R = \frac{c_1^-}{c_1^+} = \frac{\tilde{A}_{21}}{\tilde{A}_{11}} \quad (2.2.30)$$

$$T = \frac{c_{n+1}^+}{c_1^+} = \frac{1}{\tilde{A}_{11}} \quad (2.2.31)$$

เมื่อ R และ T เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อน และ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านของคลื่นตามลำดับ

2.2.2 การหาค่าอินพุตแอดมิทแตนซ์ (Input Admittance) ของโครงสร้างแบบพรีโอดิกในไมโครสตริป

จากวงจรสมมูลรวมของ โครงสร้างแบบพรีโอดิกในไมโครสตริปดังในรูปที่ 2.2.7 และ เมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิฟายด์ของคลื่นตามสมการที่ 2.2.29 เราสามารถหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) ของวงจรสมมูลแบบสายส่งได้โดย



รูป 2.2.7 แสดงวงจรสมมูลของ โครงสร้างแบบพรีโอดิกในไมโครสตริปจำนวน N คาบ

$$\begin{bmatrix} c_1^+ \\ c_1^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \tilde{A}_{11} & \tilde{A}_{12} \\ \tilde{A}_{21} & \tilde{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{n+1}^+ \\ c_{n+1}^- \end{bmatrix} \quad (2.2.32)$$

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = Z_2 \frac{(c_1^+ + c_1^-)}{(c_1^+ - c_1^-)} \quad (2.2.33)$$

เมื่อ Z_2 คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของไมโครสตริปส่วนที่มองจากอินพุตเข้าไป ซึ่งก็คือส่วนที่มีค่าของตัวไดอิเล็กตริกซบเสตรตเป็น ϵ_{r2} แทนค่าสมการที่ 2.2.30 ลงในสมการที่ 2.2.32 และ ในกรณีที่ไม่คิดค่าของอิมพีแดนซ์ของโหลดภายนอก จะได้ $c_{n+1}^- = 0$ เนื่องจากไม่มีการสะท้อนกลับของคลื่นที่โหลด ดังนั้น

$$\frac{Z_{in}}{Z_2} = \frac{\tilde{A}_{11} + \tilde{A}_{21}}{\tilde{A}_{11} - \tilde{A}_{21}} = \frac{1+R}{1-R} \quad (2.2.34)$$

$$Y_{in} = Y_2 \frac{1-R}{1+R} \quad (2.2.35)$$

เมื่อ Y_{in} คือ ค่าอินพุตแอดมิทแตนซ์ของโครงสร้างแบบพรีโอดิกในไมโครสตริป มีค่าเป็น $1/Z_{in}$ และ ค่า $Y_2 = 1/Z_2$

จากสมการที่ 2.2.33 ถ้า $\tilde{A}_{11} = \tilde{A}_{11r} + j\tilde{A}_{11i}$ และ $\tilde{A}_{21} = \tilde{A}_{21r} + j\tilde{A}_{21i}$ จะได้ค่าของสมการใหม่คือ

$$Y_{in} = Y_2 \frac{(\tilde{A}_{11r} - \tilde{A}_{21r}) + j(\tilde{A}_{11i} - \tilde{A}_{21i})}{(\tilde{A}_{11r} + \tilde{A}_{21r}) + j(\tilde{A}_{11i} + \tilde{A}_{21i})}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดย สำนักพิมพ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้
$$Y_{in} = Y_{inr} + jY_{ini} \quad (2.2.36)$$

เมื่อ
$$Y_{inr} = \frac{Y_2}{(\tilde{A}_{11r} + \tilde{A}_{21r})^2 + (\tilde{A}_{11i} + \tilde{A}_{21i})^2} [(\tilde{A}_{11r}^2 - \tilde{A}_{21r}^2) + (\tilde{A}_{11i}^2 - \tilde{A}_{21i}^2)] \quad (2.2.37)$$

$$Y_{ini} = \frac{Y_2}{(\tilde{A}_{11r} + \tilde{A}_{21r})^2 + (\tilde{A}_{11i} + \tilde{A}_{21i})^2} [2(-\tilde{A}_{11r}\tilde{A}_{21i} + \tilde{A}_{21r}\tilde{A}_{11i})] \quad (2.2.38)$$

2.2.3 แผนภาพบริลลูอิน (Brillouin Diagram) หรือ แผนภาพ $k_c - \beta$

การศึกษาคุณสมบัติของช่วงผ่าน และ ช่วงหยุด ของโครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริป หาได้โดยหากำจาก เมทริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่นในสมการที่ 2.2.28 ซึ่งการหาค่าคำตอบของบล็อชเวฟที่เป็นคลื่นที่เคลื่อนที่ในโครงสร้างแบบพีริโอดิกทั่ว ๆ ไปจะได้

$$c_{n+1}^+ = e^{-\gamma d} c_n^+ \quad (2.2.39)$$

และ
$$c_{n+1}^- = e^{-\gamma d} c_n^- \quad (d = d_1 + d_2) \quad (2.2.40)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ 2.2.39 และ 2.2.40 ลงในสมการที่ 2.2.28 จะได้

$$\begin{bmatrix} A_{11} - e^{\gamma d} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} - e^{\gamma d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{n+1}^+ \\ c_{n+1}^- \end{bmatrix} = 0 \quad (2.2.41)$$

เมื่อ γ คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของคลื่น (Propagation Constant) และสมการที่ 2.2.41 นั้นจะมีค่าเป็นศูนย์ได้ก็ต่อเมื่อ ค่าดีเทอร์มิแนนต์มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งสามารถหาค่าได้ คือ

$$A_{11}A_{22} - A_{12}A_{21} + e^{2\gamma d} - (e^{\gamma d})(A_{11} + A_{22}) = 0 \quad (2.2.42)$$

หรือ
$$\cosh(\gamma d) = \frac{1}{2}(A_{11} + A_{22}) \quad (2.2.43)$$

เมื่อแทนค่า A_{11}, A_{22} จากสมการ 2.2.24 และ สมการ 2.2.27 จะได้

$$\cosh(\gamma d) = \cos(\beta_a d_1) \cos(\beta_b d_2) - \frac{1}{2} \left(\frac{Z_b}{Z_a} + \frac{Z_a}{Z_b} \right) \sin(\beta_a d_1) \sin(\beta_b d_2) \quad (2.2.44)$$

เนื่องจาก $\gamma = \alpha + j\beta$ เมื่อ α คือค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนของคลื่น (Attenuation Coefficient) และ β คือค่าคงที่เฟส ซึ่งจากสมการที่ 2.2.44 เราสามารถแยกกรณีของค่าทางขวามือออกได้เป็นกรณีต่าง ๆ ดังนี้

เมื่อ
$$\left| \cos(\beta_a d_1) \cos(\beta_b d_2) - \frac{1}{2} \left(\frac{Z_a}{Z_b} + \frac{Z_b}{Z_a} \right) \sin(\beta_a d_1) \sin(\beta_b d_2) \right| < 1$$

จะได้ $\gamma = j\beta$ และ $\alpha = 0$ ดังนั้นจะเขียนสมการที่ 2.2.44 ได้ใหม่เป็น

$$\cos(\beta d) = \cos(\beta_a d_1) \cos(\beta_b d_2) - \frac{1}{2} \left(\frac{Z_a}{Z_b} + \frac{Z_b}{Z_a} \right) \sin(\beta_a d_1) \sin(\beta_b d_2) \quad (2.2.45)$$

เมื่อ
$$\cos(\beta_a d_1) \cos(\beta_b d_2) - \frac{1}{2} \left(\frac{Z_a}{Z_b} + \frac{Z_b}{Z_a} \right) \sin(\beta_a d_1) \sin(\beta_b d_2) > 1$$

จะได้ $\gamma = \alpha$ และ $\beta = 0$ ดังนั้นจะเขียนสมการที่ 2.2.44 ได้ใหม่เป็น

$$\cosh(\alpha d) = \cos(\beta_a d_1) \cos(\beta_b d_2) - \frac{1}{2} \left(\frac{Z_a}{Z_b} + \frac{Z_b}{Z_a} \right) \sin(\beta_a d_1) \sin(\beta_b d_2) \quad (2.2.46)$$

เมื่อ
$$\cos(\beta_a d_1) \cos(\beta_b d_2) - \frac{1}{2} \left(\frac{Z_a}{Z_b} + \frac{Z_b}{Z_a} \right) \sin(\beta_a d_1) \sin(\beta_b d_2) < -1$$

จะได้ $\gamma d = j\pi + \alpha d$ และ $\beta = 0$ ดังนั้นจะเขียนสมการที่ 2.2.44 ได้ใหม่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$-\cosh(\alpha d) = \cos(\beta_a d_1) \cos(\beta_b d_2) - \frac{1}{2} \left(\frac{Z_a}{Z_b} + \frac{Z_b}{Z_a} \right) \sin(\beta_a d_1) \sin(\beta_b d_2) \quad (2.2.47)$$

จากสมการที่ 2.2.45 - 2.2.47 นั้น เราสามารถนำค่าไปเขียนเป็นกราฟของ βd และ αd เทียบกับความถี่ได้ โดยเราจะเรียกกราฟที่เขียนขึ้นโดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ 2.2.45 - 2.2.47 ว่า “แผนภาพบริลลูอิน” หรือ แผนภาพ $k_0 - \beta$ โดยที่แผนภาพนี้ สามารถหาค่าช่วงผ่านและช่วงหยุดของโครงสร้างแบบพีริโอดิกได้ ซึ่งช่วงผ่านคือย่านที่ $\cosh(\gamma d) = \cos(\beta d)$ ส่วนช่วงหยุดนั้นคือย่านที่ $\cosh(\gamma d) = \cosh(\alpha d)$ โดยค่าที่ได้จากการเขียนกราฟนี้ ทำให้เราทราบว่าโครงสร้างแบบพีริโอดิกมีการสะท้อนกลับที่ย่านความถี่ใดบ้าง ซึ่งย่านที่มีการสะท้อนกลับนี้ ก็คือช่วงหยุดนั่นเอง

สำหรับค่าความยาวในแต่ละคาบ และ แผนภาพบริลลูอิน ของโครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริปนั้น จะทำการหา และ แสดงในบทที่ 3 โดยเราจะอาศัยกลไกนี้เพื่อให้เกิดการป้อนกลับแบบบวกไปยังอุปกรณ์ชนิด แอคทีฟ (ในที่นี้ใช้กันนำไดโอด) เพื่อให้เกิดการออสซิลเลต (Oscillate) ในวงจรออสซิลเลเตอร์ ดังจะได้แสดง รายละเอียดในการคำนวณในบทที่ 3 ต่อไป



2.3 กัมน์ไดโอด [9]

กัมน์ไดโอดเป็นอุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณกระแสตรงให้เป็นพลังงานย่านไมโครเวฟโดยใช้คุณสมบัติความต้านทานแบบลบของแท่งสารกึ่งตัวนำ GaAs : Gallium Arsenide) คุณสมบัตินี้เป็นผลให้เกิดการสร้างไดโพลโดเมน (Dipole Domain) ที่เคลื่อนตัวผ่านแท่งสารด้วยความเร็วเข้าใกล้ความเร็วอิ่มตัว (Saturate) การเป็นความต้านทานแบบลบของกัมน์ไดโอดไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ความเร็วเคลื่อนที่เร็ว แต่จะอยู่ในย่านความถี่หนึ่งเมื่อจ่ายศักดาไบอัสค่าหนึ่ง แท่งสารนี้จะทำให้เกิดการออสซิลเลตได้ในวงจรที่ไบอัสย่านวีเอชเอฟ (VHF) ซึ่งโดยปกติแทนได้ด้วยไบอัสไลน์อิมพีแดนซ์ (Bias Line Impedance) ค่าหนึ่ง วงจรไมโครเวฟควรรออกแบบให้มีค่าซัสเซปทิบิลิตี (Susceptibility) เป็นค่าซึ่งให้วงจรเกิดการออสซิลเลต ศักดาค่าเริ่มต้นก่อนการออสซิลเลตนี้เรียกว่า ศักดาเทินออน V_{TO} (Turn On Voltage) ส่วนศักดาค่าแรก ที่เกิดการออสซิลเลตที่ความถี่ค่าหนึ่งอย่างต่อเนื่องเรียกว่าศักดาที่จุดทำงาน V_{OP} (Operation Voltage)

อุปกรณ์กัมน์มักพบว่ามีใช้เป็นโลคอลออสซิลเลเตอร์ (Local Oscillator) สำหรับอุปกรณ์ในงาน เรดาร์ (Radar) และเป็นเครื่องส่ง (Transmitter) สำหรับเรดาร์กำลังต่ำ ไดโอดนี้ทำงานได้ดีที่สุดที่ความถี่จาก 6 GHz ถึง 20 GHz และให้กำลังได้มากถึง 200-300 มิลลิวัตต์อย่างต่อเนื่อง อุปกรณ์พวกกัมน์นี้ให้สัญญาณรบกวนย่านเอฟเอ็ม (FM) ต่ำกว่า 20 dB ถึง 10 dB

2.3.1 แท่งความต้านทานดิฟเฟอเรนเชียลแบบลบ NDR (Bulk Negative Differential Resistance)

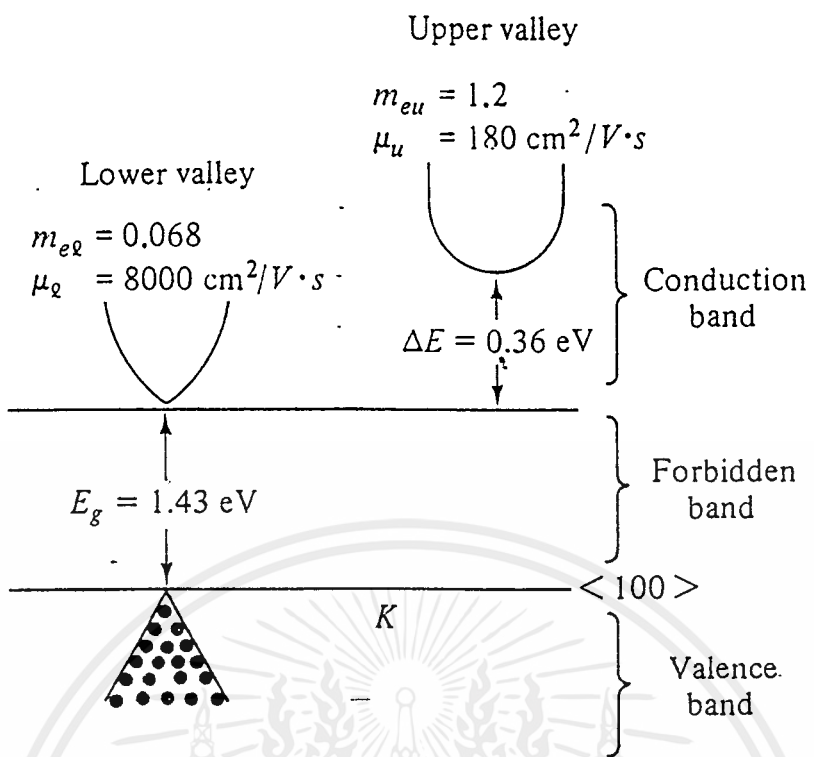
อุปกรณ์กัมน์มีการทำงานแบบความต้านทานดิฟเฟอเรนเชียลแบบลบ กลไกที่ทำให้เกิดความต้านทานแบบลบ ในกัมน์ไดโอดจะวิเคราะห์ในที่นี้เฉพาะสาร n-type GaAs กลไกนี้สามารถพบในสาร InP, InAs ฯลฯ ได้เช่นกัน ปรากฏการณ์ ความต้านทานดิฟเฟอเรนเชียลแบบลบ อธิบายได้โดยใช้รูปที่ 2.3.1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและ โมเมนตัมของสาร GaAs

จากรูปจะเห็นว่าสาร n-type GaAs มีแบนด์แกป (Band Gap) ที่แถบนำ (Conduction Band) ต่ำสุดอยู่ตรงกับแถบวาเลนซ์ (Valance Band) สูงสุดพอดีคือตรงที่มีค่า เลขคลื่น (Wave Number) เป็น 6 และที่ตำแหน่ง 100 ซังปรากฏแถบนำที่สองอีก แต่มีพลังงานต่ำสุดสูงกว่าแถบแรก เรียกว่าอัฟเปอร์วัลเลย์ (Upper Valley) ค่าพลังงานผลต่างระหว่างแถบนำทั้งสองเท่ากับ 0.36 eV (อิเล็กตรอนโวลท์) เมื่อพิจารณาที่อิเล็กตรอนที่สามารถเคลื่อนที่ได้หรืออิเล็กตรอนโมบิลิตี (Electron Mobility) ในแถบนำด้านต่ำจะมีค่าสูงถึง 50 เท่าของที่มีมวลประสิทธิผล (Effective Mass) ของอิเล็กตรอน สามารถอธิบายโดยสมการ 2.3.1

$$m^* = \frac{h^2}{dE^2/dk^2} \quad (2.3.1)$$

- เมื่อ m^* คือ ค่ามวลประสิทธิผลของอิเล็กตรอน
 h คือ ค่าคงที่ของพลังค์
 E คือ พลังงานที่ใส่เข้าไปมีหน่วยเป็นอิเล็กตรอนโวลท์
 k คือ ค่าเลขคลื่น

จากรูปจะเห็นว่า d^2E/dk^2 จะต้องมีค่าที่โลเวอร์วัลเลย์ (Lower Valley) มากกว่าที่อัฟเปอร์วัลเลย์ ดังนั้น



รูปที่ 2.3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับ โมเมนตัมของผลึก GaAs

$$m_l^* \ll m_u^* \tag{2.3.2}$$

เมื่อ m_l^*, m_u^* คือ ค่ามวลประสิทธิผลของอิเล็กตรอน ในโลเวอร์และอัพเปอร์วัลเลย์ตามลำดับ จึงสามารถพิจารณาได้ว่าโมบิลิตี้ ของอิเล็กตรอนที่อัพเปอร์วัลเลย์ มีค่าน้อยกว่าที่โลเวอร์วัลเลย์ อธิบายโดยใช้สมการที่

2.3.3

$$\mu_n \cong \frac{e\tau}{2m_{cn}^*} \tag{2.3.3}$$

เมื่อ μ_n คือ โมบิลิตี้ของอิเล็กตรอนในแต่ละวัลเลย์
 τ คือ เวลาในการชนกันของอิเล็กตรอน (Collision Time)
 m_{cn}^* คือ มวลความนำประสิทธิผล (Conductivity Effective Mass)

ซึ่งจะเห็นได้ว่า $\mu_u \gg \mu_l$ เมื่อพิจารณาถึงจำนวนของอิเล็กตรอนในวัลเลย์ทั้งสองจะต้องพิจารณาก่อนว่าวัลเลย์ทั้งสองมีพลังงานต่างกันอยู่ 0.36 eV และพลังงานนี้ น้อยกว่าแบนด์แก๊ปแต่มากกว่า kT/e (0.26 eV) ที่อุณหภูมิห้อง โดยที่ k คือค่าคงที่ของ โบลมานซ์ และ T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์มีหน่วยเป็นเคลวิน ถ้ามีสนามเพียงเล็กน้อยที่อุณหภูมิห้องอิเล็กตรอนจะได้รับพลังงานค่าต่ำ ๆ และพบว่าส่วนใหญ่จะเข้าไปอยู่ในโลเวอร์วัลเลย์ หรือ $n_1 = n_0, n_2 = 0$ โดยที่ $n_0 = n_1 + n_2$ (เมื่อ n_0 = จำนวนอิเล็กตรอนทั้งหมด n_1 = จำนวนอิเล็กตรอนในโลเวอร์วัลเลย์ และ n_2 = จำนวนอิเล็กตรอนในอัพเปอร์วัลเลย์) เมื่อมีสนามจ่ายเข้าไปมากขึ้นจะเร่งให้อิเล็กตรอนมีพลังงานเพิ่มขึ้นจนเคลื่อนตัวเข้าไปอยู่ในอัพเปอร์วัลเลย์ได้โดยการชนกัน การหาจำนวนอิเล็กตรอนที่แถมอนในแต่ละวัลเลย์ได้จากการทราบค่าความเข้มข้นของแต่ละสถานะในวัลเลย์นั้น ๆ สมมุติว่าที่สนามไฟฟ้าประมาณ 10^4 V/cm มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



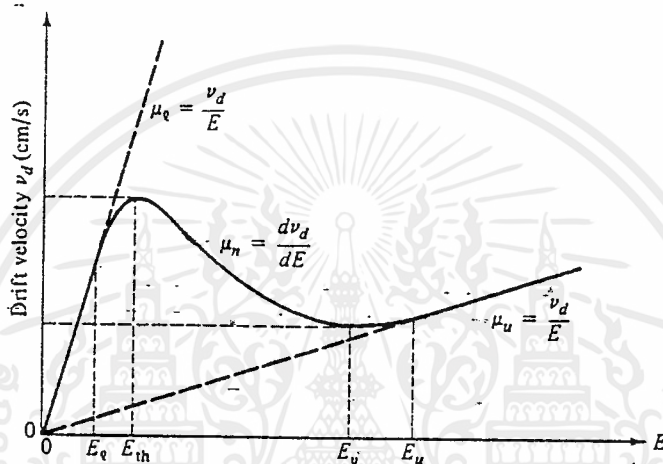
อิเล็กตรอนอยู่ในอัมเปอร์วัลเลย์มากกว่า 90% n_1 n_2 ในขณะที่สนามไฟฟ้าเปลี่ยนจากโลเวอร์วัลเลย์ไปยังอัมเปอร์วัลเลย์ทั้งหมด มีโมบิลิตีเฉลี่ยเป็น

$$\mu_{av} = \frac{n_1 \mu_1 + n_2 \mu_2}{n_0} \quad (2.3.4)$$

เมื่อ μ_{av} คือ โมบิลิตีเฉลี่ยของอิเล็กตรอน และเมื่อความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนเป็น

$$v_{av} = -\mu_{av} E \quad (2.3.5)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอน



รูป 2.3.2 ความสัมพันธ์ในอุดมคติระหว่างความเร็วของอิเล็กตรอนกับสนามไฟฟ้าของ n-type GaAs

แล้วเมื่อพิจารณาว่าเมื่อ E เพิ่มขึ้นถึงค่า ๆ หนึ่งที่แน่นอนสำหรับสารนั้น ๆ พิจารณาตามรูปที่ 2.3.2 จากรูปแสดงว่าที่ $E_c < E < E_v$ (เมื่อ E_c คือระดับพลังงานที่ต้องการสำหรับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปสู่โลเวอร์วัลเลย์ และ E_v คือระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนจะคงสภาพอยู่ในอัมเปอร์วัลเลย์) ด้วยความเร็วเฉลี่ยของอิเล็กตรอนจะลดลงขณะที่ E เพิ่มขึ้น หลังจากที่อิเล็กตรอนทั้งหมดล้าเทไปสู่อัมเปอร์วัลเลย์ แล้วความเร็วก็จะเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่งสอดคล้องกับสนามที่เพิ่มขึ้นในย่านอัมเปอร์วัลเลย์โมบิลิตีตั้งในรูป 2.3.2 เนื่องจากผลของการอิมิตัวของความเร็ว ทำให้ความเร็วไม่เพิ่มขึ้นอีกในย่านที่สนใจคือย่าน ความต้านทานแบบลบ ตามรูป ค่าความนำเฉลี่ยมีค่าเป็น

$$\sigma = n_0 e v_{av} \quad (2.3.6)$$

เมื่อใช้กฎของโอห์ม (Ohm's Law) $J = \sigma E$ เราสามารถกำหนดค่าความนำเชิงอนุพันธ์เป็น

$$\sigma = \frac{dJ_x}{dE_x} = n_0 e \frac{dv_{av}}{dE_x} \quad (2.3.7)$$

จากสมการที่ 2.3.7 และรูปที่ 2.3.2 จะเห็นได้ว่าที่ $E_c < E < E_v$ ค่าความนำเชิงอนุพันธ์ต้องเป็นลบ กลไกอันนี้พบได้ในอุปกรณ์พวกกันน์ และ LSA (Limited Space Charge Accumulator) เพื่อให้การออสซิลเลตเกิดในความถี่

ย่านไมโครเวฟ การถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างวัลเลย์ในรูป 2.3.1 นั้นต้องใช้เวลานานมาก ๆ มีค่าโดยประมาณ 2×10^{-12} วินาที

2.3.2 การสร้างโดเมน (Domain Formation)

ขั้วต่อโอห์มมิก (Ohmic Contact) ที่ปลายทั้งสองของแท่ง n-type GaAs เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากต่อการสร้างอุปกรณ์ ขั้วต่อโอห์มมิกที่สามารถจ่ายหรือรับอิเล็กตรอนจำนวนหนึ่ง โดยไม่ต้องมีศักดาคร่อมเลย กันมีไดโอดส่วนมากมักเป็นแบบชั้น $n^+ - n - n^+$ GaAs ดังในรูปที่ 2.3.3 ทำให้ความยาวจริงที่จะมีการเกิดการออสซิลเลต L น้อยกว่าความยาวของแท่ง GaAs ขณะที่จำนวนของพาหะ (Carrier) n_1 ลดลงเนื่องจากสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตรงช่วงใกล้ขั้วต่อโอห์มมิกหนึ่ง ซึ่งอาจเป็นแคโทด (Cathode) เป็นจุดที่มีความแตกต่างของความเข้มของอิเล็กตรอนสูง มีประจุเริ่มต้นกระจายผ่านอุปกรณ์เข้ามายังวงจรภายใน เป็นขณะที่มีสนามไฟฟ้าเริ่มต้น E_{th} การกระจายของประจุเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$\rho = \rho_0 \exp(-t\sigma / \epsilon) \quad (2.3.8)$$

เมื่อ σ, ϵ คือ ค่าความนำและค่าคงตัว ไดอิเล็กตริกของสาร

ρ_0 คือ ความหนาแน่นประจุเริ่มต้น

การลดลง (Decay) ของความหนาแน่นประจุ ไม่สมมูลกับเวลาในช่วงหนึ่ง จะเรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า “ไดอิเล็กตริกรีแลกซ์เซชัน” (Dielectric Relaxation Effect) เวลาในการลดลงหาได้จากสมการ

$$T_d = \epsilon / \sigma \quad (2.3.9)$$

เมื่อ T_d คือ เวลาที่ใช้ไปในการลดจำนวนของอิเล็กตรอน

สำหรับอุปกรณ์กันันที่แคโทดซึ่งสามารถจ่ายอิเล็กตรอนได้ สมมุติว่าศักดาที่ขั้ว V_0 จ่ายให้ขณะที่ $t = 0$ ดังในรูปที่ 2.3.4 (ก) สมมุติค่า E อยู่เหนือ E_{th} ดังในรูปที่ 2.3.4 (ข) ทันใดนั้นจะเกิดการสะสมของประจุที่แคโทดเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนเนื่องจากความเร็วของอิเล็กตรอนที่มีโมบิลิตีสูงที่สุด a และที่จุด b เนื่องจากอิเล็กตรอนความเร็วสูงที่มีโมบิลิตีต่ำ การสะสมจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้า และเคลื่อนตัวไปยังแอโนด (Anode) สนามไฟฟ้ามักจะขึ้นกับความเร็วลอยเลื่อน (Drift) เมื่อโดเมนมาถึงแอโนดแล้วอิเล็กตรอนกับโฮล (Hole) ก็จะรวมตัวกันอีกครั้งและผลิตกระแสพัลส์ (Pulse) ออกมาภายนอกดังรูปที่ 2.3.5 สนามหลังโดเมนก็จะลดลงทันทีและเพิ่มขึ้นอีกตามศักดาที่จ่ายให้จนถึงค่า E_{th} อีกครั้งแล้วการสร้างโดเมนใหม่จะเกิดขึ้นอีกซ้ำ ๆ กันแบบนี้ กระแสพัลส์ที่เกิดขึ้นประกอบด้วยความถี่พื้นฐาน (Fundamental) มีคาบเวลาเท่ากับคาบของพัลส์ ลักษณะของกระแสตามรูปที่ 2.3.5 ความถี่พื้นฐานนี้เรียกว่า ความถี่กันัน f_{Gumm} ที่ซึ่ง

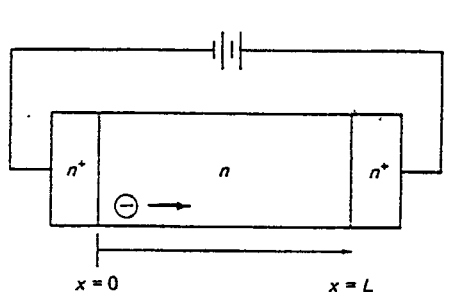
$$1 / f_{Gumm} = T \approx L / v_s \quad (2.3.10)$$

เมื่อ L คือ ความยาวของอุปกรณ์

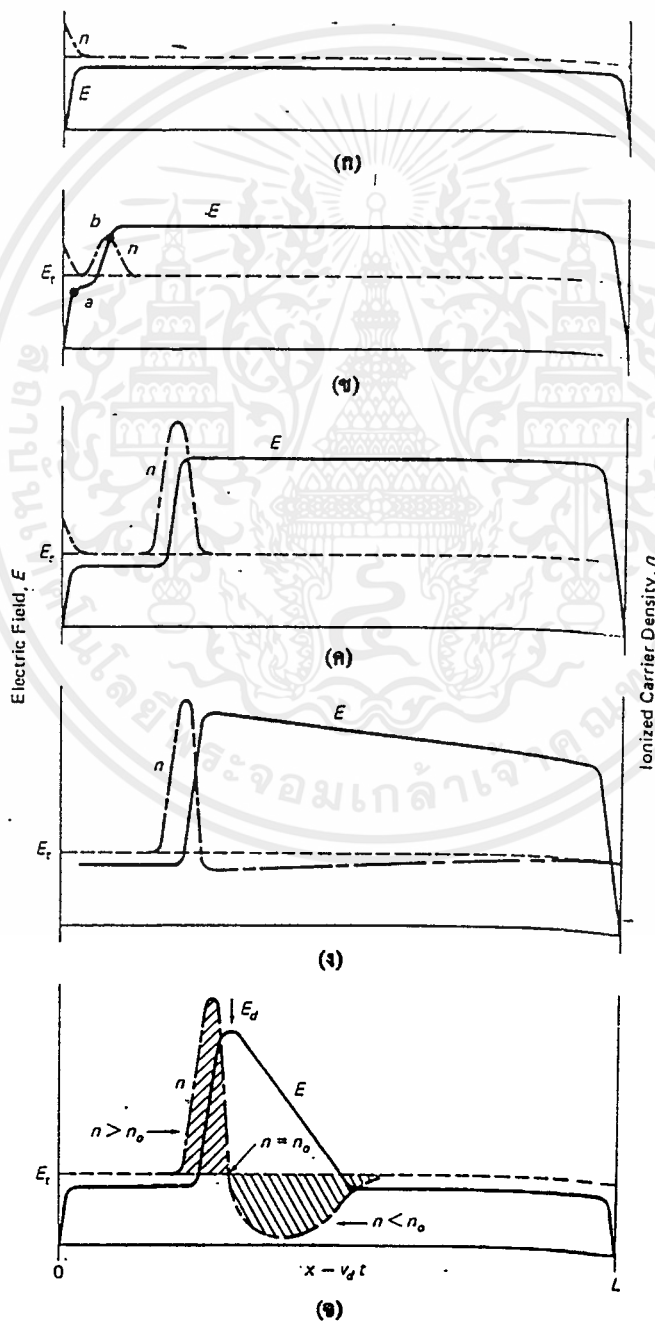
v_s คือ ความเร็วอิ่มตัวในการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอน

สังเกตว่ากันน้ออสซิลเลเตอร์ ไม่จำเป็นต้องใช้วงจรรีโซแนนซ์ (Resonance) หรือ เคาวิตี (Cavity) แต่วงจรนี้สามารถออสซิลเลตในวงจรรีซิสทีฟ (Resistive) ร่วมกับวงจรความต้านทานโหลดสมมูล (Equivalent Load Resistance) อนุกรมด้วยค่าที่ไม่มากจนเกินไป

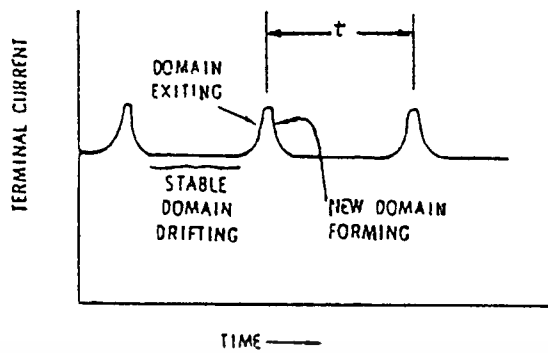
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.3.3 แสดงโครงสร้างกัมมันต์ไอโคชนิด $n^+ - n - n^+$ GaAs



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.3.5 แสดงรูปร่างกระแสที่ขั้วของกันน้อสซิลเลเตอร์

2.3.3 โหมดการทำงาน (Operating Mode)

กันน้อสซิลเลเตอร์มีการทำงานที่โหมดต่าง ๆ กันที่เป็นไปได้โดยทำการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ให้มีค่า n ต่างกัน หรือโดยการเปลี่ยนแปลงวงจรรายนอก ไดโพลโดเมนจะสร้างตัวในสารกึ่งตัวนำเมื่อ $n \cdot L > 10^{12} \text{ cm}^2$ และจะไม่สร้างตัวเมื่อมีค่าของ $n \cdot L < 10^{12} \text{ cm}^2$ อิมพีแดนซ์ของวงจรรายนอกใช้เป็นอินฮิบิต (Inhibit) หรือควันซ์ (Quench) ของโดเมนนี้ วงจรจะทำงานขึ้นอยู่กับโครงสร้างส่วนประกอบของสาร อุณหภูมิระดับไบอัส และอิมพีแดนซ์ของวงจรรายนอก โหมดการทำงานต่าง ๆ มี ดังนี้

1. ดีเลย์โดเมนหรืออินฮิบิตโดเมน โหมด (Delay-Domain or Inhibit Domain Mode)
2. ควันซ์โดเมน โหมด (Quenched-Domain Mode)
3. LSA โหมด (Limited Space Charge Accumulator Mode)
4. ไฮบริด โหมด (Hybrid Mode)
5. แอควิวมิวเลชันเลเยอร์หรือเนกาทีฟคอนดักแตนซ์ โหมด (Accumulation Layer or Negative Conductance Mode)
6. ไดโพลโดเมน หรือทราเวลลิ่งโดเมน หรือทรานซิทไทม์ หรือกันน้อสซิลเลเตอร์ โหมด (Dipole-Domain or Traveling-Domain or Transit-Time or Gunn Mode)

สำหรับ ไดโพลโดเมน โหมดนั้น เป็นโหมดที่ใช้ในการออกแบบกันน้อสซิลเลเตอร์นี้ โหมดนี้ใช้คุณสมบัติการสร้างตัวของประจุไดโพลที่เตโลดของอุปกรณ์ซึ่งกระจายผ่านอุปกรณ์ด้วยความเร็วลอยเลื่อนอิมิต์ และจับกลุ่มรวมกันที่แอโนดในวงจรมีอิมพีแดนซ์ต่ำ ความเร็วของชั้นไดโพลยังคงขึ้นกับค่าศักดาที่จ่ายโดยตรง ความถี่คำนวณได้โดยใช้เวลาทรานซิทเป็นหลัก ได้เป็น

$$f_{\text{Gunn}} L = v_s \approx 10^7 \text{ cm / sec} \quad (2.3.11)$$

ถ้าการเพิ่มประจุในโดเมนมีผลมากต่อคุณสมบัติ I-V ของไดโอด จำเป็นที่ต้องให้

$$|T_d| \ll |T| \quad (2.3.12)$$

เมื่อ T_d ได้จากสมการ 2.3.9 (กรณีที่เป็นความนำแบบลบ) T เป็นค่าที่ได้จากสมการ 2.3.10 ในทำนองเดียวกัน โดเมนจะต้องมีเวลาเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Time) รวมกันที่เพื่อการเพิ่มก่อนที่จะเคลื่อนออกจากอุปกรณ์สามารถเขียนสมการ 2.3.12 ใหม่เป็นงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\varepsilon}{n_0 e |\mu^-|} \ll L / v_s \tag{2.3.13}$$

เมื่อ μ^- คือ โมบิลิตีซึ่งอนุพันธ์แบบลบ (ค่าประมาณ $-2400 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{sec}$) แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการ 2.3.13 พบว่า

$$n_0 L \gg 2.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \tag{2.3.14}$$

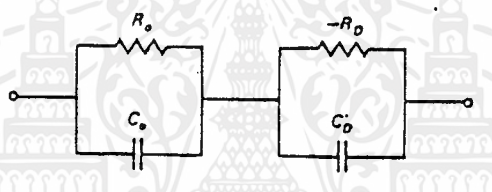
ดังนั้น เพื่อการออกแบบง่ายขึ้น สมการสำหรับกัณฑ์ออสซิลเลเตอร์ที่กำลังต่ำมีค่าเป็น

$$f_0 L = 10^7 \text{ cm/sec} \tag{2.3.15}$$

$$n_0 L \geq 3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \tag{2.3.16}$$

2.3.4 รูปแบบวงจรสมมูลของอุปกรณ์กัณฑ์ไดโอด (Gunn Diode Equivalent Circuit Model)

วงจรสมมูลของอุปกรณ์กัณฑ์แบบง่าย ๆ เป็นของฮอปสัน แสดงไดโอดเป็นวงจรรวมทั้งย่านสนามต่ำและสนามสูง ดังแสดงในรูปที่ 2.3.6 โดยที่ R_0 และ C_0 แสดงค่าความต้านทาน และค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance) ของคุณสมบัติที่ย่านสนามต่ำ ส่วน R_d และ C_d แสดงค่าความต้านทานที่เป็นลบ และค่าความจุไฟฟ้าของคุณสมบัติที่ย่านสนามสูง



รูป 2.3.6 วงจรสมมูลของกัณฑ์ไดโอด โดยใช้รูปแบบของฮอปสัน

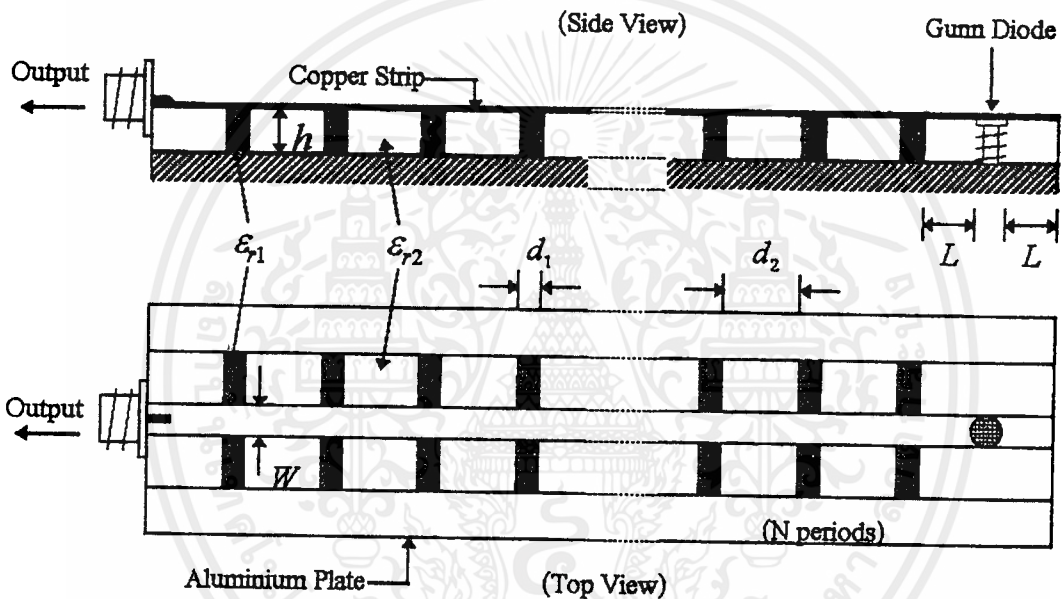
ซึ่งวิธีการออกแบบ และการสร้างวงจรรออสซิลเลเตอร์โดยใช้กัณฑ์ไดโอดฝังอยู่ใน โครงสร้างแบบพีริโอดิกใน ไมโครสตริปนั้นจะทำการกล่าวถึงในบทที่ 3 ต่อไป

บทที่ 3

วิธีการออกแบบและผลการคำนวณ

3.1 วิธีการออกแบบ

ในปริภูมิอนุพันธ์ฉบับนี้นั้นจะทำการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูง โดยจะใช้อุปกรณ์แอคทีฟ คือ กัมน์ไดโอด โดยกัมน์ไดโอดจะถูกฝังอยู่ในช่องกลมเล็ก ๆ ตรงปลายด้านหนึ่งของ โครงสร้างแบบฟิรียอดิกในไมโครสตริป โดยที่ขั้วแอโหนดของไดโอดสัมผัสกับแผ่นตัวนำทางด้านบนของไมโครสตริป และ ขั้วแคโอดฝังติดกับแผ่นกราวด์เพลน ซึ่งระหว่างแผ่นตัวนำและกราวด์เพลนนั้นจะมี สักคาไฟเลี้ยงอยู่เพื่อเป็นสักคาไบอัส (Bias Voltage) ให้กับไดโอด และ โครงสร้างแบบฟิรียอดิกในไมโครสตริปนั้น จะใช้ลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าไดอิเล็กทริกซบสเตรต ให้มีค่า 2 ค่าที่แตกต่างกัน สลับกันไปด้วยคาบ d ดังแสดงโครงสร้างของวงจรนี้ดังในรูปที่ 3.1.1



รูป 3.1.1 แสดง โครงสร้างของออสซิลเลเตอร์

การออกแบบออสซิลเลเตอร์นี้มีส่วนสำคัญที่ต้องทำการคำนวณ และ ทำนึ่งถึงเป็นอย่างมาก คือ เงื่อนไขในการออสซิลเลต , ค่าความกว้างของแต่ละคาบของ โครงสร้างแบบฟิรียอดิกในไมโครสตริป ซึ่งจะ ได้กล่าวถึงในตอนต่อไป

3.1.1 เงื่อนไขในการออสซิลเลต

ในการออกแบบออสซิลเลเตอร์นั้น กัมน์ไดโอดจะถูกฝังในช่องกลมเล็ก ๆ ตรงกึ่งกลางไมโครสตริปที่มีโครงสร้างข้างหนึ่งเป็นโครงสร้างแบบฟิรียอดิกในไมโครสตริป ที่มีการแปรค่าไดอิเล็กทริกซบสเตรต 2 ค่าต่างกัน และ สลับกันด้วยคาบ d ซึ่งเงื่อนไขของการออสซิลเลตของกัมน์ออสซิลเลเตอร์ คือ

$$G_d + G_r = 0 \quad (3.1.1)$$

$$B_d + B_r = 0 \quad (3.1.2)$$

โดยที่ G_d และ B_d เป็นค่าความนำ หรือ ค่าคอนดักแตนซ์ (Conductance) และ ซัสเซพแตนซ์ (Susceptance) ของกัมน์ไดโอด ตามลำดับ ส่วนค่า G_r และ B_r นั้น เป็นค่าความนำ และ ค่าซัสเซพแตนซ์ ของไมโครสตริปภายนอก

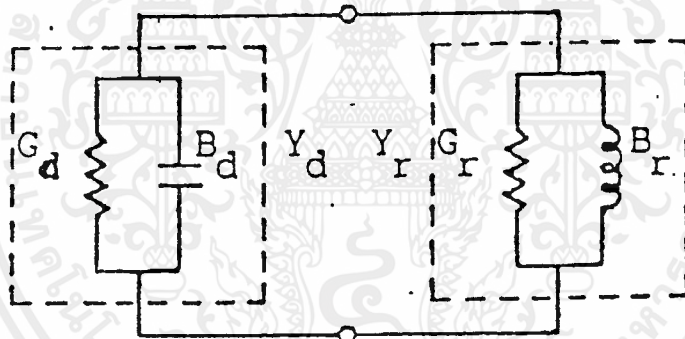
ไดโอด ซึ่งที่ความถี่ใกล้เคียงกับความถี่ทรานซิทของกัมน์ไดโอด สามารถเขียนวงจรสมมูลของกัมน์ไดโอด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค้ววงจรสมมูลแบบกันน์ไมคม โดยแทนค่าความนำแบบลบ ($G_d < 0$) ต่อขนานอยู่กับซัสเซพเตนซ์รวมแบบบวก ($B_d > 0$) ซึ่งจะแสดงค้วเป็นค่าความจุไฟฟ้า (Capacitive) ดังนั้นเพื่อให้เป็นไปตามเงื่อนไขของสมการ 3.1.1 และ 3.1.2 นั้น จึงต้องทำให้ค่าซัสเซพเตนซ์ของไมโครสตริปภายนอกไดโอด เป็นลบ ก็จะต้องเป็นค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductive) และ ค่าความนำเป็นบวก แต่เนื่องจากไมโครสตริปภายนอกไดโอดของโครงสร้างแบบฟิรโอดิกในไมโครสตริป นั้น จะมีค่าซัสเซพเตนซ์เป็น ค่าความจุไฟฟ้าในช่วงความถี่หุค ดังนั้น จึงต้องมีการเพิ่มส่วนของไมโครสตริปยาว $L = \lambda_g/4$ โดยที่ λ_g เป็นค่าความยาวคลื่นในไมโครสตริป ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $\frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{eff}}}$ (c เป็นค่าความเร็วแสง, f เป็นค่าความถี่ของคลื่น) เข้าไประหว่างตัวไดโอด กับ โครงสร้างแบบฟิรโอดิก เพื่อแปลงให้เป็นค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า จากนั้นเราจึงสามารถเขียนวงจรสมมูลของ ออสซิลเลเตอร์ได้ดังรูปที่ 3.1.2 และ ความยาวคาบของ โครงสร้างแบบฟิรโอดิกในไมโครสตริป d นั้นสามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 3.1.3

$$\beta d = \pi \quad (3.1.3)$$

เมื่อ β คือ ค่าคงที่เฟส และ จากหัวข้อ 2.2.3 นั้นจะพบว่า สมการที่ 3.1.3 นั้นเป็นสถานะที่เป็นการเปลี่ยนจาก ช่วงผ่าน ไปเป็นช่วงหุคนั่นเอง ดังนั้น ทำให้ทราบว่าช่วงหุคนั้นจะเกิดที่ความถี่ที่ทำให้สมการที่ 3.1.3 เป็นจริง



รูป 3.1.2 แสดงวงจรสมมูลของกันน์ออสซิลเลเตอร์

3.1.2 การคำนวณหาค่าแอดมิตแตนซ์ของรีโซเนเตอร์ (Resonator) ภายนอกไดโอด ($Y_r = G_r + jB_r$)

การคำนวณหาค่าแอดมิตแตนซ์ Y_r ของตัวรีโซเนเตอร์ที่เป็นโครงสร้างแบบฟิรโอดิกในไมโครสตริปนั้น สามารถหาได้จากเมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิฟายเออร์ของคลื่นจำนวน N คาบ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.2.2 ซึ่งสามารถหาค่าแอดมิตแตนซ์ของโครงสร้างแบบฟิรโอดิกได้เป็น

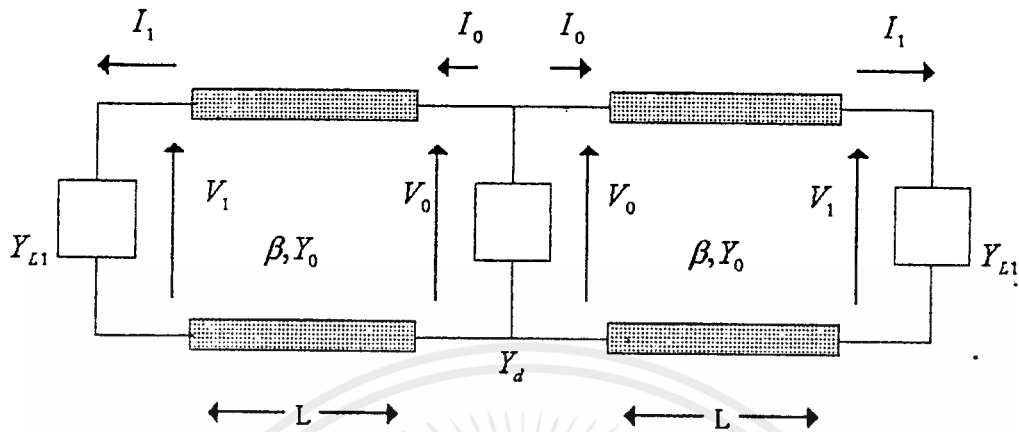
$$Y_{in} = Y_2 \left[\frac{\tilde{A}_{11} - \tilde{A}_{21}}{\tilde{A}_{11} + \tilde{A}_{21}} \right] \quad (3.1.4)$$

เมื่อ $Y_{12} = 1/Z_{12}$ และ เนื่องจากโครงสร้างแบบฟิรโอดิกในไมโครสตริปเป็นค่าความจุไฟฟ้าในช่วงความถี่หุค จึงจำเป็นต้องต่อส่วนของ ไมโครสตริปยาว $\lambda_g/4$ เพื่อแปลงค่าของซัสเซพเตนซ์ของไมโครสตริปให้มีค่าเป็นลบ หรือ เป็นค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้านั่นเอง ดังนั้น จะได้ค่าแอดมิตแตนซ์รวมเป็น

$$Y_r = Y_{r1} + Y_{r2} \quad (3.1.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Y_{L1} และ Y_{L2} เป็นค่าแอดมิตแตนซ์ของไมโครสตริปที่มองจากโคโอดไปยังด้านซ้าย และ ด้านขวาตามลำดับ โดยที่ Y_{nk} (โดยที่ k เท่ากับ 1 และ 2 ตามลำดับ) หาได้จากการแมตช์ (match) ของสายส่งที่มีความยาวสายส่งเป็น $\lambda_g/4$ ดังแสดงในรูปที่ 3.1.3



L = ส่วนของไมโครสตริปที่มีความยาว $\lambda_g/4$
 $Y_{L1} = Y_{L2}$ ของโครงสร้างแบบพรีโอคิกในไมโครสตริป
 Y_d = แอดมิตแตนซ์ของก้านโคโอด

รูป 3.1.3 แสดงวงจรสมมูลของก้านออสซิลเลเตอร์เมื่อคิดส่วนของไมโครสตริปยาว $\lambda_g/4$

จากรูปที่ 3.1.3 เราสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างศักดา และ กระแสที่อินพุตอยู่ในรูปของศักดา และ กระแส ที่เอาต์พุต เป็นเมตริกซ์ได้ดังสมการ

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ I_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\beta L) & jZ_0 \sin(\beta L) \\ j\frac{1}{Z_0} \sin(\beta L) & \cos(\beta L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} \quad (3.1.6)$$

ที่ส่วนโหนดเราได้ค่า

$$\frac{V_1}{I_1} = Z_{in}$$

และ

$$Y_{nk} = \frac{I_0}{V_0} = \frac{jY_0 \sin(\beta L)V_1 + \cos(\beta L)I_1}{\cos(\beta L)V_1 + j\frac{1}{Y_0} \sin(\beta L)I_1} \quad (3.1.7)$$

เมื่อ Y_0 เป็นค่าแอดมิตแตนซ์ของไมโครสตริปที่มีความยาว $\lambda_g/4$ เมื่อ แทนค่า V_1, I_1 จากสมการที่ 3.1.6 ลงใน สมการที่ 3.1.7 แล้วจะได้ค่า Y_{nk} เป็น

$$Y_{nk} = Y_0 \left[\frac{Y_{ink} \cos(\beta L) + jY_0 \sin(\beta L)}{Y_0 \cos(\beta L) + jY_{ink} \sin(\beta L)} \right] \quad (3.1.8)$$

ในปริยายนิพจน์ฉบับนี้นั้น เป็นการทำออสซิลเลเตอร์ให้มีเอาต์พุตออกมาทางด้านเดียว ดังนั้นอีกด้านหนึ่งนั้น จะทำการต่อ ไมโครสตริปที่มีความยาว $\lambda_g/4$ แล้วจึงทำการชอร์ต (Short) ปลายสาย ดังนั้น ค่า V_1 จะมีค่าเป็น 0 ทำให้สมการที่ 3.1.7 มีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_{rk} = \frac{\cos(\beta L)I_1}{j \frac{1}{Y_0} \sin(\beta L)I_1} = \frac{-jY_0}{\tan(\beta L)} \quad (3.1.9)$$

ที่ความถี่ออสซิลเลต β มีค่าเป็น $2\pi/\lambda_g$ และ L ค่าเป็น $\lambda_g/4$ ดังนั้นสมการที่ 3.1.9 จะมีค่าเป็น

$$Y_{rk} = \frac{-jY_0}{\tan(\pi/2)} = 0 \quad (3.1.10)$$

ทำให้ค่า Y_r ที่ความถี่ออสซิลเลตนั้นจะมีผลจากค่า Y_{nk} จากค่านำโครงสร้างแบบพรีโอคิกด้านเดียวเท่านั้น จะไม่มีผลของค่าแอดมิแตนซ์จากค่านำที่ทำการช้อตปลายสายเข้ามาบรรจบกัน

จากสมการที่ 3.1.8 นั้น ถ้า $Y_{ink} = Y_{inrk} + jY_{inik}$ แล้ว สมการที่ 3.1.8 จะมีค่าเป็น

$$Y_r = Y_0 \frac{(Y_{inrk} + jY_{inik}) \cos(\beta L) + jY_0 \sin(\beta L)}{Y_0 \cos(\beta L) + j(Y_{inrk} + jY_{inik}) \sin(\beta L)} \quad (3.1.11)$$

เมื่อนำค่าคอนจูเกต (Conjugate) เข้ามาคูณนั้นจะได้ค่าออกมาเป็น

$$Y_r = Y_{rr} + jY_{ri} \quad (3.1.12)$$

$$\text{โดยที่ } Y_{rr} = \frac{Y_0^2 Y_{inrk}}{(Y_0 \cos(\beta L) - Y_{inik} \sin(\beta L))^2 + (Y_{inrk} \sin(\beta L))^2}$$

$$\text{และ } Y_{ri} = \frac{Y_0 [Y_{inik} Y_0 \cos(2\beta L) + (Y_0^2 - Y_{inrk}^2 - Y_{inik}^2) \sin(\beta L) \cos(\beta L)]}{(Y_0 \cos(\beta L) - Y_{inik} \sin(\beta L))^2 + (Y_{inrk} \sin(\beta L))^2}$$

3.2 ผลการคำนวณ

ในภาคการศึกษา ที่ผ่านมานั้น ได้ทำการสร้างวงจรรอกำจัดแถบความถี่ ที่ใช้โครงสร้างแบบพรีโอคิก ในไมโครสตริปชีน โดยที่ความถี่ที่ต้องการให้เกิดช่วงหยุดนั้นอยู่ที่ 10 GHz ซึ่งทางผู้จัดทำได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อหาค่าความยาวของโครงสร้างแบบพรีโอคิกในไมโครสตริป 1 คาบ ซึ่งเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาซี (เทอร์โบซี เวอร์ชัน 2.0) ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ต่าง ๆ ดังนี้

ϵ_{r1}	เป็นอากาศ ที่มีค่าคงตัว ไดอิเล็กตริกเท่ากับ	1.0	
ϵ_{r2}	เป็นเทฟลอน ที่มีค่าคงตัว ไดอิเล็กตริกเท่ากับ	2.0	
h	เป็นค่าความสูงของแผ่น ไดอิเล็กตริกซัสเตรต มีความสูง	1.2	มิลลิเมตร

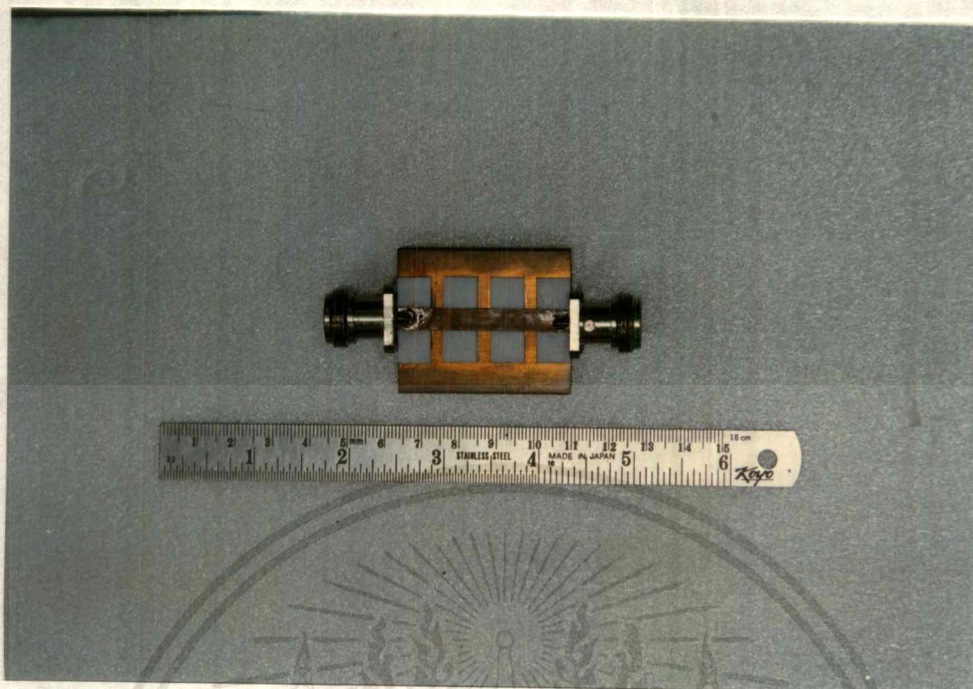
ซึ่งภายหลังจากการรันโปรแกรมแล้วจะได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้คือ

w	เป็นค่าความกว้างของแผ่นตัวนำของไมโครสตริป มีค่า	5.65	มิลลิเมตร
d_1	เป็นค่าความยาวของสายไมโครสตริปส่วนที่เป็นอากาศ ใน 1 คาบ มีค่า	3.40	มิลลิเมตร
d_2	เป็นค่าความยาวของสายไมโครสตริปส่วนที่เป็นเทฟลอน ใน 1 คาบ มีค่า	9.15	มิลลิเมตร

หลังจากได้ค่าพารามิเตอร์ที่ ต้องการแล้วจึงนำมาสร้าง เป็นวงจรรอกำจัดแถบความถี่ที่มีจำนวน คาบต่าง ๆ กัน คือ 3 คาบ , 5 คาบ , 7 คาบ , 10 คาบ และ 15 คาบ เพื่อทำการทดลองวัดผลการตอบสนองทางความถี่ของโครงสร้างแต่ละแบบ และ นำผลการทดลองที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกัน และ ทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณ

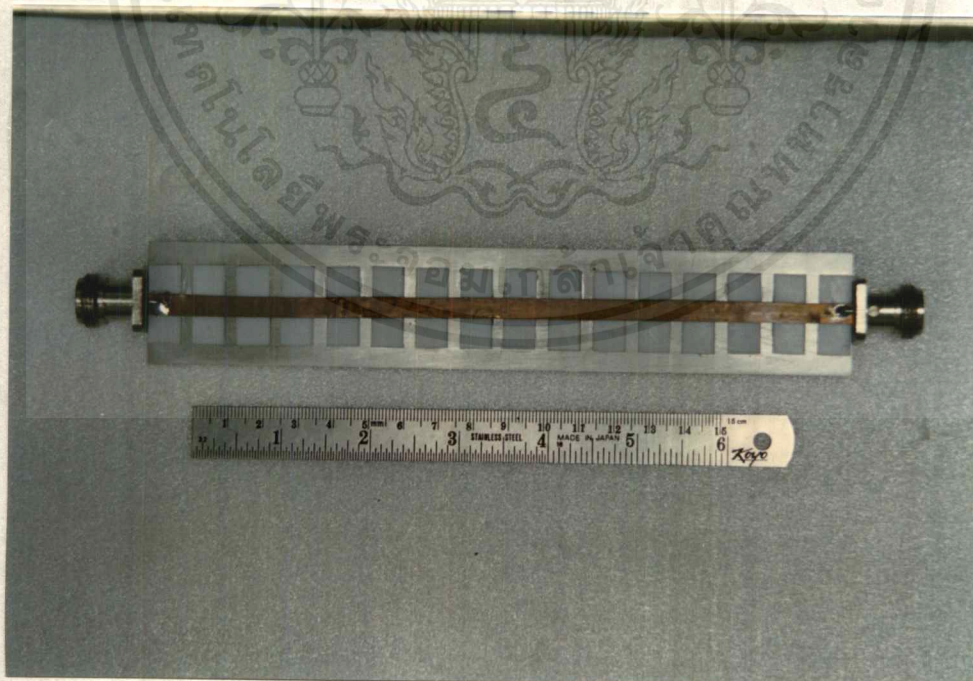
ซึ่งภายหลังจากการทำทดลองแล้ว สามารถแสดงรูปตัวอย่างวงจร , ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านที่ได้จากการทดลอง และ การคำนวณ ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2.1 แสดงวงจรรองกำลังจัดแถบความถี่ที่มีค่าความยาว 3 คาบ

รูป 3.2.1 โครงสร้างนี้ใช้ทองแดงเป็นกราวด์เพลน และ ทองแดงเป็นแผ่นสกริป โดยที่แผ่นเทพลอนมีความกว้าง 22.05 มิลลิเมตร และ ความยาวรวมของวงจรมีค่า 46.8 มิลลิเมตร

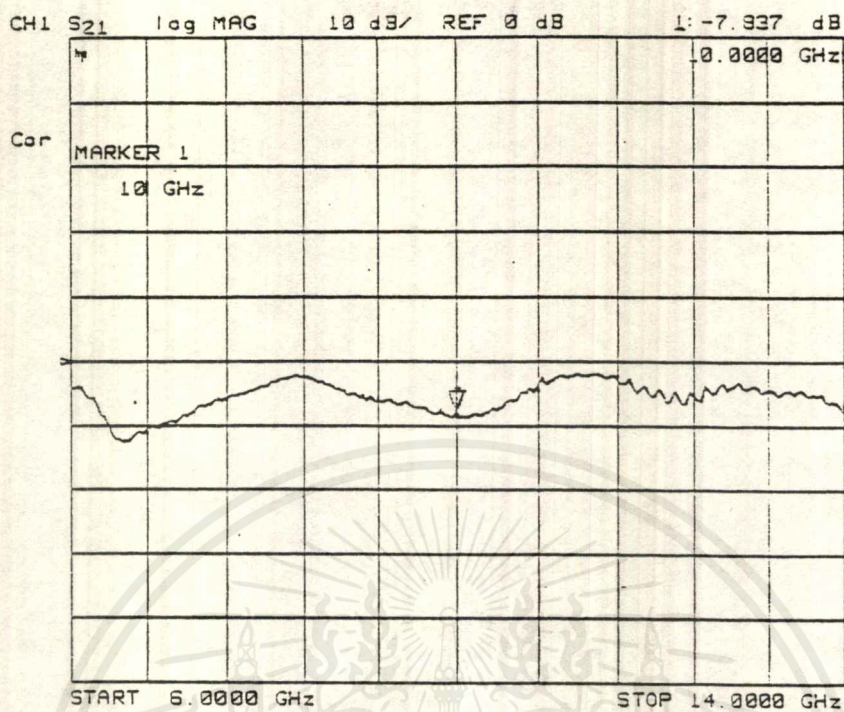


รูป 3.2.2 แสดงวงจรรองกำลังจัดแถบความถี่ที่มีค่าความยาว 15 คาบ

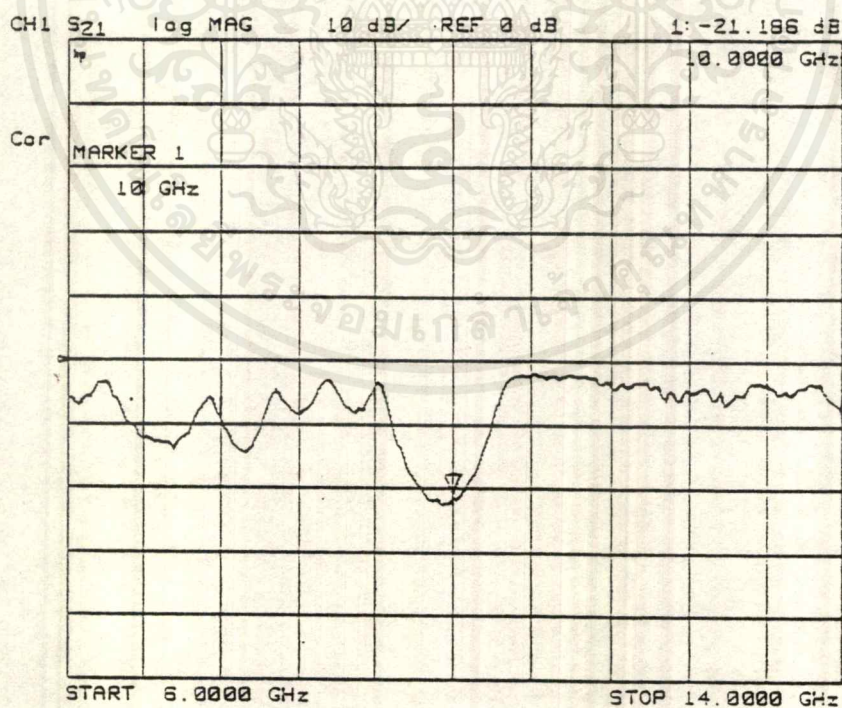
รูป 3.2.2 โครงสร้างนี้ใช้อลูมิเนียมเป็นกราวด์เพลน และ ทองแดงเป็นแผ่นสกริป โดยที่แผ่นเทพลอนมีความกว้าง 22.05 มิลลิเมตร และ ความยาวรวมของวงจรมีค่า 197.4 มิลลิเมตร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.2.3 และ รูป 3.2.4 แสดงผลการทดลอง ของการตอบสนองทางความถี่ของวงจร 3 คาบ และ 15 คาบ

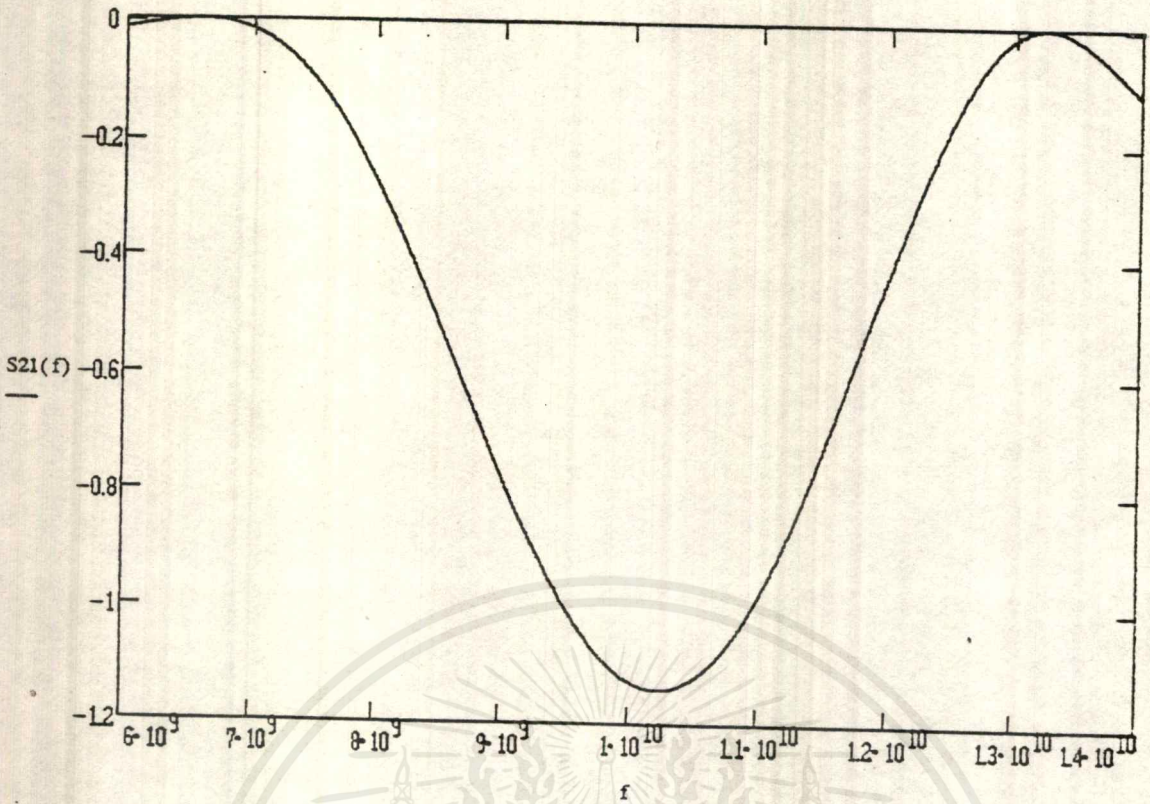


รูป 3.2.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของวงจรรอกำจัดแถบความถี่ แบบ 3 คาบ ในช่วงความถี่ 6 GHz ถึง 14 GHz

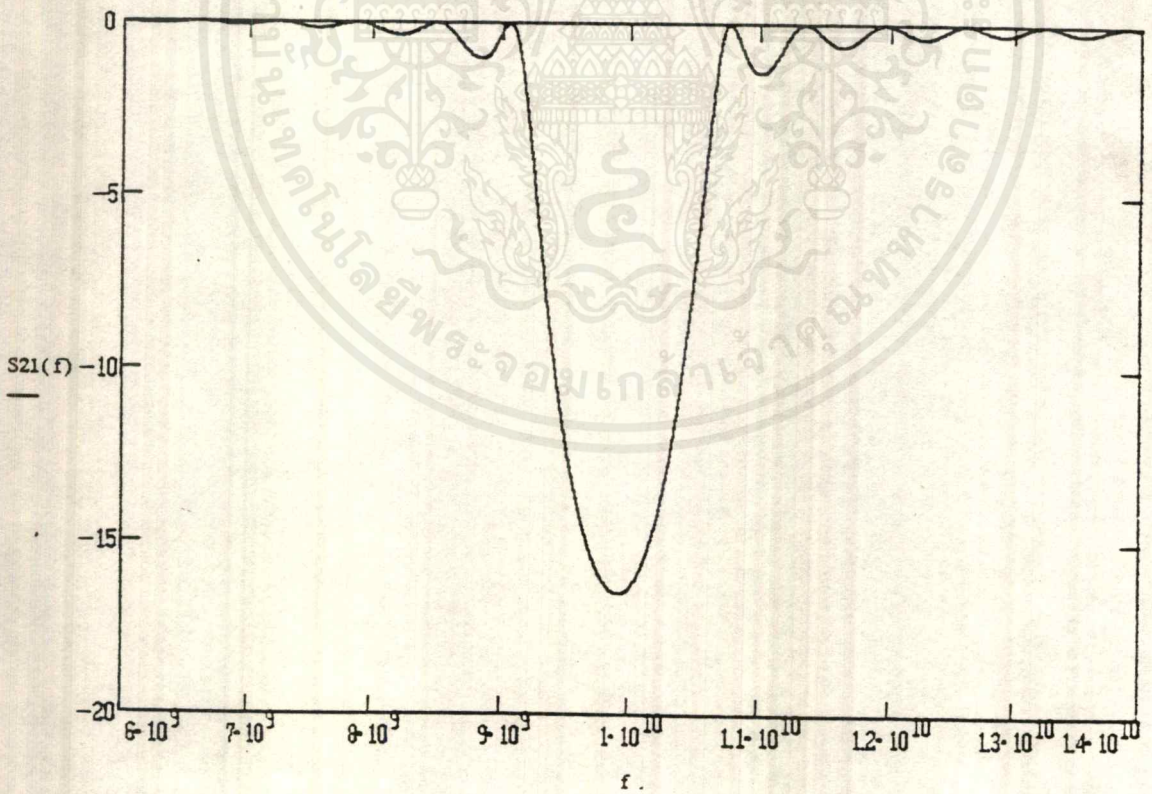


รูป 3.2.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของวงจรรอกำจัดแถบความถี่ แบบ 15 คาบ ในช่วงความถี่ 6 GHz ถึง 14 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2.5 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของวงจรกรองกำเนิดความถี่แบบ 3 คาบ ในช่วงความถี่ 6 GHz ถึง 14 GHz



รูป 3.2.6 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของวงจรกรองกำเนิดความถี่แบบ 15 คาบ ในช่วงความถี่ 6 GHz ถึง 14 GHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งผลที่ได้จากรูปที่ 3.2.3 และ รูป 3.2.4 นั้น ได้ทำการวัดจากเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analyzer) ที่มีการปรับเทียบแบบทรู (Calibrate Thru) และ ค่าที่ได้จากรูปที่ 3.2.5 และ 3.2.6 นั้น ได้มาจากการคำนวณบนโปรแกรม Mathcad เวอร์ชัน 6.0 ซึ่งจากผลการทดลอง และ ผลการคำนวณที่ได้ ในภาคการศึกษาที่ผ่านมา นั้น ทำให้เราทราบว่า โครงสร้างแบบ ฟิริโอดิก นี้สามารถสะท้อนคลื่นในช่วงความถี่ที่ต้องการ ได้จริง ซึ่งในที่นี้ นั้นทำการเปรียบเทียบระหว่าง โครงสร้างแบบ 3 คาบ และ 15 คาบ พบว่ายิ่งจำนวนคาบมีค่าสูง ๆ จะทำให้วงจร มีการสะท้อนคลื่นกลับ ได้มากกว่า วงจรที่มีจำนวนคาบต่ำ ๆ ดังนั้น ในการสร้างออสซิลเลเตอร์นั้น เราจะเลือก ใช้วงจรที่มีค่าจำนวนคาบมาก ๆ เพื่อที่จะมีความสามารถในการสะท้อนคลื่นได้ดี ทำให้วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ จะสร้างขึ้นนั้นสามารถที่จะควบคุมความถี่ได้ และมีเสถียรภาพทางความถี่ที่สูง

ในภาคการศึกษานี้ นั้นได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้หาค่าความยาวของ โครงสร้างแบบฟิริโอดิกใน 1 คาบ เพื่อ และ ทำการหาค่า β และ α เพื่อนำมาเขียนแผนภาพบริลลูอิน รวมไปถึงการหาค่าอินพุตแอกมิตแดนซ์ และ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของ โครงสร้างแบบฟิริโอดิกในไมโครสตริป เพื่อหาจุดที่วงจรสามารถเกิดการออสซิลเลต ได้

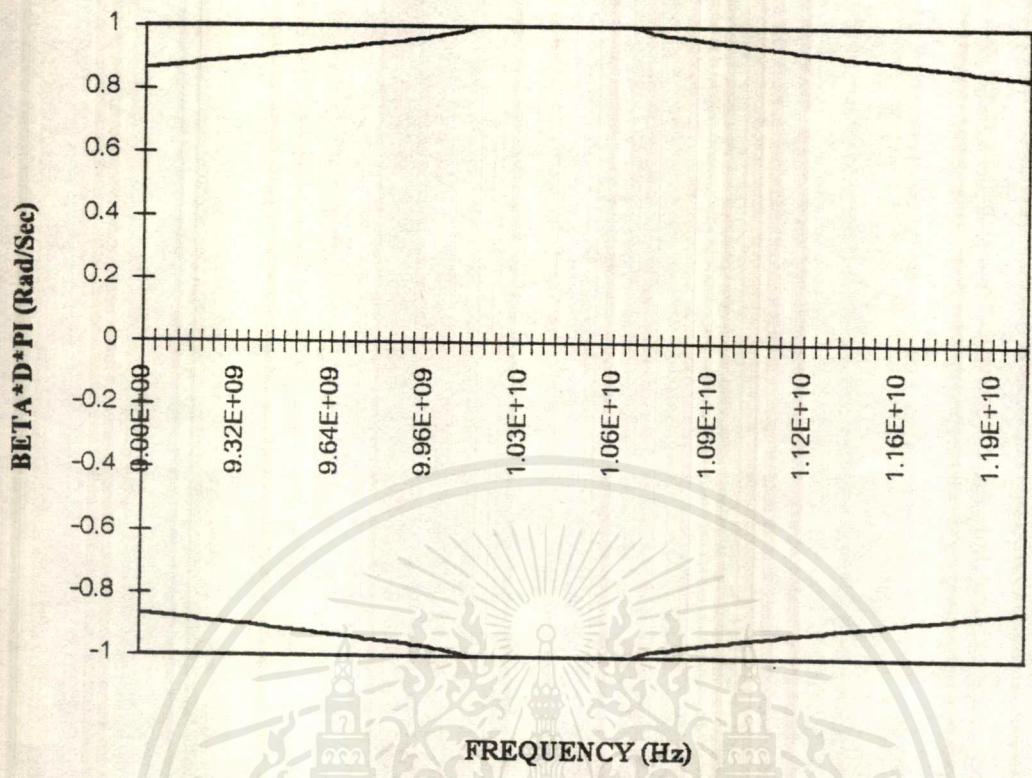
โปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้จะเขียน และ ทำการรันบนโปรแกรมภาษาซี เวอร์ชัน 2.0 ซึ่งรายละเอียดของ โปรแกรมนี้จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ข. โดยวงจรนี้จะทำการหาค่าเพื่อให้ออสซิลเลตในย่านความถี่ 10.5 GHz และ ใช้โครงสร้างแบบฟิริโอดิกในไมโครสตริปจำนวน 15 คาบ เพื่อให้มีการสะท้อนคลื่นในย่าน ความถี่ที่ต้องการได้ดี โดยที่ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในที่นี้คือ (ดูรูปที่ 3.1.1 ประกอบ)

ϵ_{r1}	เป็นอากาศ ที่มีค่าคงตัว ไดอิเล็กตริกเท่ากับ	1.0	
ϵ_{r2}	เป็นเทฟลอน ที่มีค่าคงตัว ไดอิเล็กตริกเท่ากับ	2.0	
h	เป็นค่าความสูงของแผ่นไดอิเล็กตริกชั้นสเตรต มีความสูง	1.2	มิลลิเมตร
t	เป็นค่าความหนาของแผ่นตัวนำด้านบน มีค่า	0.1	มิลลิเมตร
a	เป็นค่าความกว้างของแผ่นเทฟลอน มีค่า	4.0	มิลลิเมตร

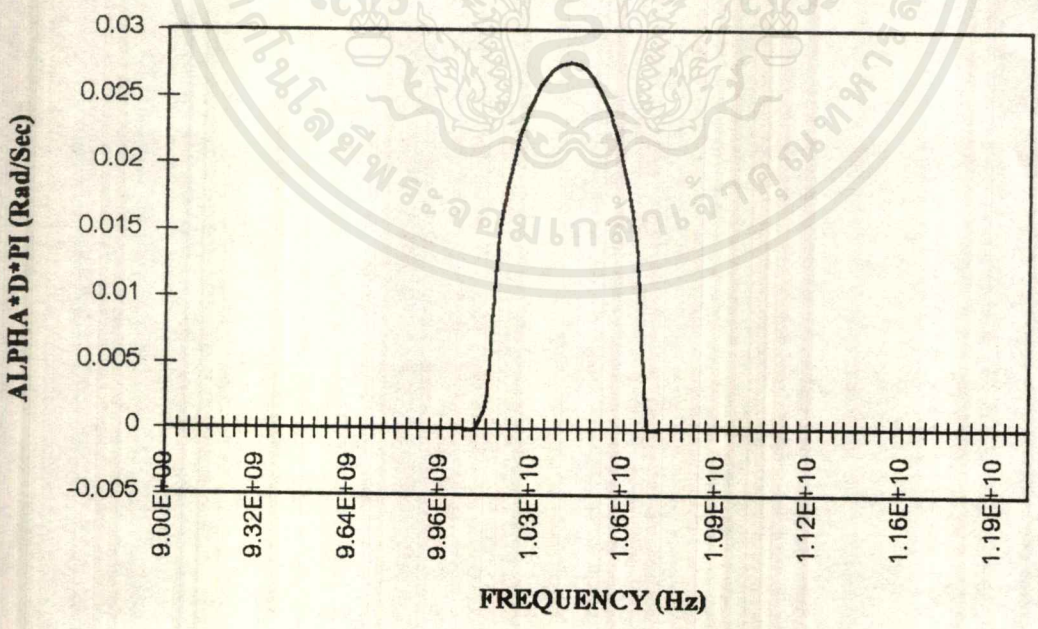
ภายหลังจากการรันโปรแกรมแล้วจะ ได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้คือ

w	เป็นค่าความกว้างของแผ่นตัวนำของ ไมโครสตริป มีค่า	5.2	มิลลิเมตร
d_1	เป็นค่าความยาวของสายไมโครสตริปส่วนที่เป็นอากาศ ใน 1 คาบ มีค่า	1.5	มิลลิเมตร
d_2	เป็นค่าความยาวของสายไมโครสตริปส่วนที่เป็นเทฟลอน ใน 1 คาบ มีค่า	9.5	มิลลิเมตร
ค่า $\lambda_g / 4$ ที่ใช้แปลงค่าซัสเซพแดนซ์ของไมโครสตริปนั้น	มีค่าความยาว	5.95	มิลลิเมตร

ซึ่งค่า βd , αd , ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน และ ค่าแอกมิตแดนซ์ที่ได้จาก โปรแกรม ที่แสดงในภาคผนวก ข. สามารถแสดง ได้ดังรูปที่ 3.2.7 - 3.2.10

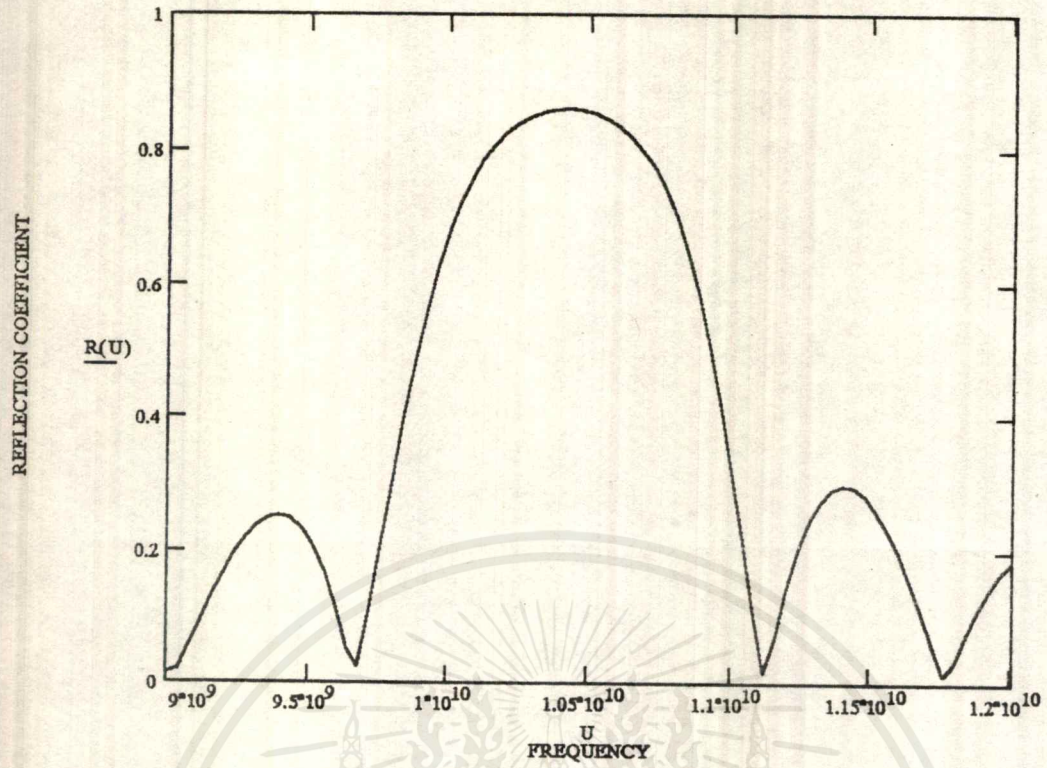


รูป 3.2.7 แผนภาพบริลลูอินแสดงค่า βd ของโครงสร้างแบบฟิโรริกที่ใช้ในการออกแบบ

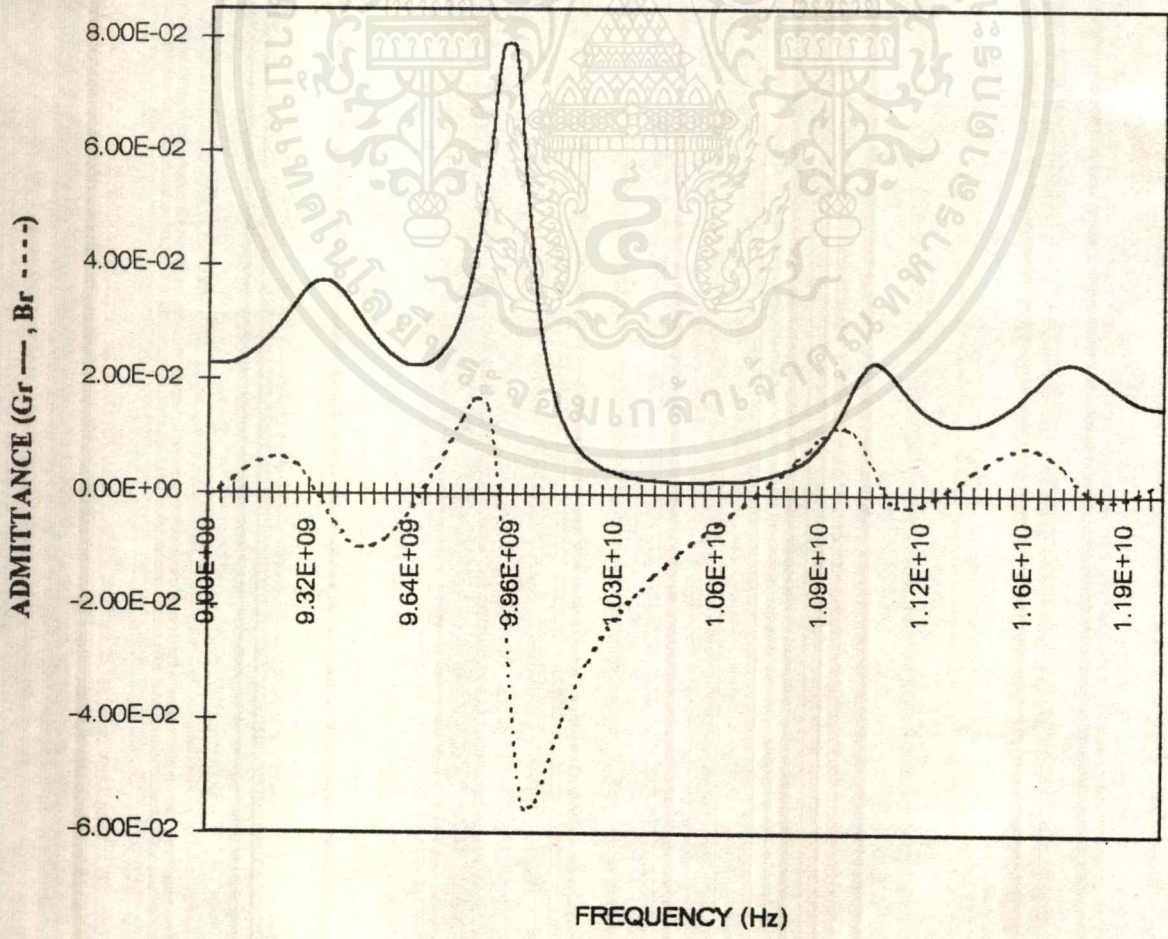


รูป 3.2.8 แผนภาพบริลลูอินแสดงค่า αd ของโครงสร้างแบบฟิโรริกที่ใช้ในการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



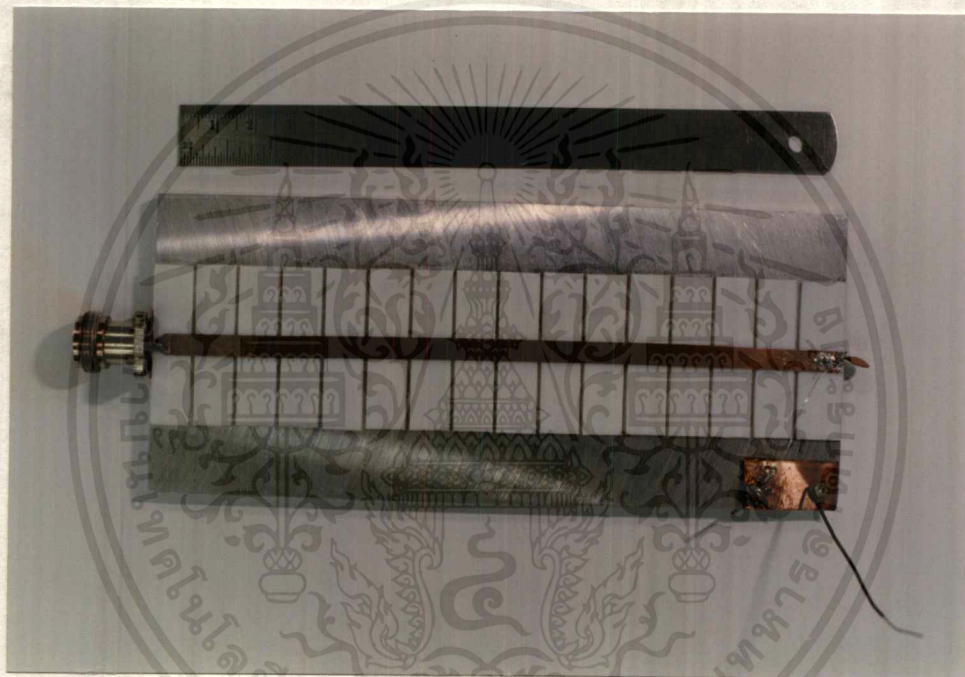
รูป 3.2.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของ โครงสร้างแบบฟิโอดิกที่ใช้ในการออกแบบ



รูป 3.2.10 แสดงค่าแอดมิตแตนซ์ (Y) ของ โครงสร้างแบบฟิโอดิก ที่ทำการออกแบบ เทียบกับ ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับวงในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 3.2.10 จะเห็นได้ว่าค่าความนำไฟฟ้า และ ค่าซัสเซพแตนซ์นั้น มีช่วงที่มีค่าเป็นบวก และ ลบ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่จะทำให้วงจรเกิดการออสซิลเลตได้ สำหรับกัมน์ไดโอดนั้น เราไม่ทราบค่าที่แน่นอนของ G_u และ B_u แต่เมื่อพิจารณาถึงผลของค่าความจุไฟฟ้าขนาน กับ ค่า ความเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่อนุกรมของตัวถังของกัมน์ไดโอดแล้ว ที่ความถี่ประมาณ 10 GHz นั้น G_u และ B_u จะมีค่าอยู่ประมาณ 10-40 mmho ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากกราฟแล้ว เราจะคาดได้ว่า การออสซิลเลตนั้นจะเกิดในช่วงที่มีค่า B_u เป็นลบใกล้เคียงกับค่า B_u มากที่สุด นั่นก็คือที่ความถี่ประมาณ 10.2 - 10.5 GHz และ เมื่อพิจารณาจากรูป 3.2.9 แล้ว จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนจะมีค่ามากที่สุดในช่วงความถี่ 10.3 - 10.5 GHz ซึ่งก็มีค่าใกล้เคียงกับรูป 3.2.10 จึงคาดได้ว่า จะเกิดการออสซิลเลตในช่วงความถี่ในย่านนี้ ซึ่งค่าที่ได้มานี้สามารถนำมาสร้างเป็นวงจรจริง ได้ดังรูปที่ 3.2.11



รูป 3.2.11 แสดงรูปวงจรกัมน์ไดโอดออสซิลเลตอร์ต้นแบบ

โดยกัมน์ไดโอดที่ใช้ นั้น เป็นของบริษัท Alpha Industries เบอร์ DGB 8422 ซึ่งมีความถี่กึ่งกลางเท่ากับ 10 GHz และ ใช้อะลูมิเนียมเป็นกราวด์เพลน เพื่อใช้ในการระบายความร้อนเนื่องจาก ไดโอดขณะทำงาน

ที่ปลายด้านหนึ่งที่ทำการช้อคนั้น จะทำการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้า ($0.1 \mu\text{F}$)เอาไว้เพื่อเป็นการช้อคสตัยยามาไฟกระเสถลับ และ เป็นการป้องกันการช้อคของวงจรเมื่อมีการป้อนไฟกระเสตรง ขณะที่ไดโอดทำงาน

จุดที่มีการป้อนไฟฟ้กระเสตรงที่เพื่อจ่ายกระแสให้แก่ไดโอดนั้น จะมีการต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้า ($0.1 \mu\text{F}$) ขนานอยู่ (Capacitor bypass) อยู่เพื่อเป็นการป้องกันไฟฟ้กระเสถลับที่เกิดจากการออสซิลเลตของวงจรเข้าไปรบกวนแหล่งจ่ายไฟกระเสตรง

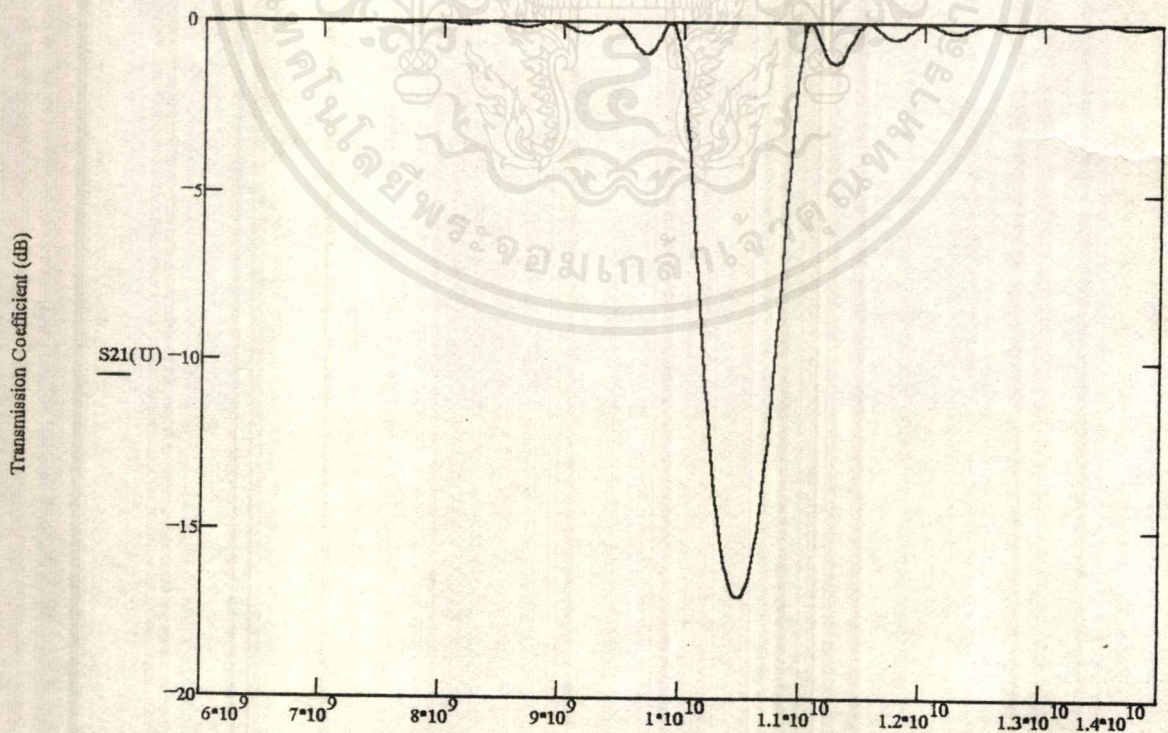
รูปของกัมน์ไดโอดแสดง ได้ดังรูปที่ 3.2.12 ซึ่งเป็นรูปแสดงขนาดของกัมน์ไดโอดเปรียบเทียบกับขนาดของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2.12 แสดงขนาดของกันันด์ไดโอดที่ใช้สร้างวงจร เปรียบเทียบกับขนาดของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์หาค่า เฟกเตอร์คุณภาพ (Q : Quality Factor) ของวงจรรีโซเนเตอร์ ซึ่งในที่นี้คือ โครงสร้างแบบฟิสิกส์ไอคิกในไมโครสตริป จำนวน 15 คาบนั้น จะพิจารณาได้จากกราฟของค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณในช่วง 6 GHz ถึง 14 GHz นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2.13



รูป 3.2.13 ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของ โครงสร้างแบบฟิสิกส์ไอคิกในไมโครสตริปที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งกราฟนี้ได้ทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Mathcad เวอร์ชัน 6.0 ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณนี้จะมีช่วงหยุดที่ความถี่ 10.48 GHz และมีแบนด์วิธ (Bandwidth) 380 MHz ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่า Q มีค่า 27.58 ซึ่งเมื่อก็คออกมาแล้วจะมีค่าที่ค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกับ วงจรรีโซเนเตอร์ชนิด ไดอิเล็กทริกเรโซเนเตอร์ (Dielectric Resonator : DRO) หรือ ไดอิเล็กทริกเคเวตี้ (Dielectric Cavity) ที่มีค่า Q สูงมาก ซึ่งการเพิ่มค่า Q นี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนคาบของโครงสร้างแบบฟิรโอดิก หรือ การใช้สารที่มีค่าคงตัวไดอิเล็กทริกที่มีค่าสูงมาก ๆ ก็จะทำให้ค่า Q ของวงจรมีค่าที่สูงขึ้นได้เช่นกัน

ผลการทดลองวัดค่าความถี่ที่ออสซิลเลต และ กำลังงานของวงจรต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้จะกล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป



บทที่ 4

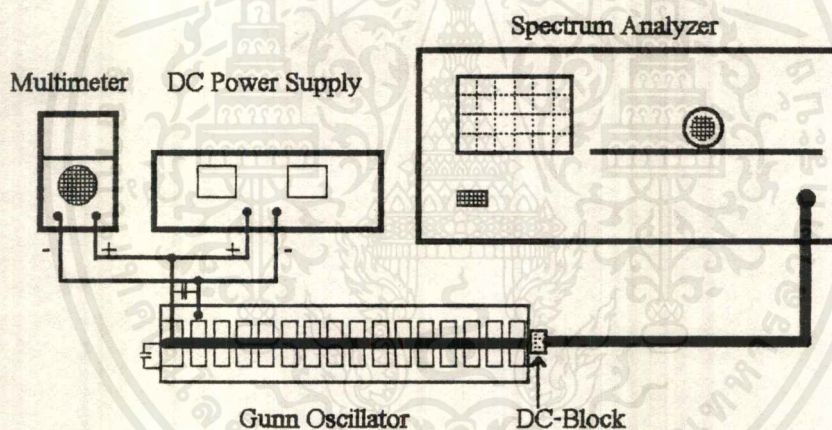
การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองวัดสัญญาณความถี่ของวงจรแก๊นออสซิลเลเตอร์ที่มีโครงสร้างแบบฟิรโอดิกในไมโครสตริป

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. วงจรแก๊นออสซิลเลเตอร์ที่มีโครงสร้างแบบฟิรโอดิกในไมโครสตริป
2. เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ (Spectrum Analyzer)
3. ข้อต่อ (Connector)
4. สายเคเบิล 1 เส้น
5. ข้อต่อคัทสัญญาณกระแสตรง (DC-Block Connector)
6. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply)
7. มัลติมิเตอร์ (Multimeter)

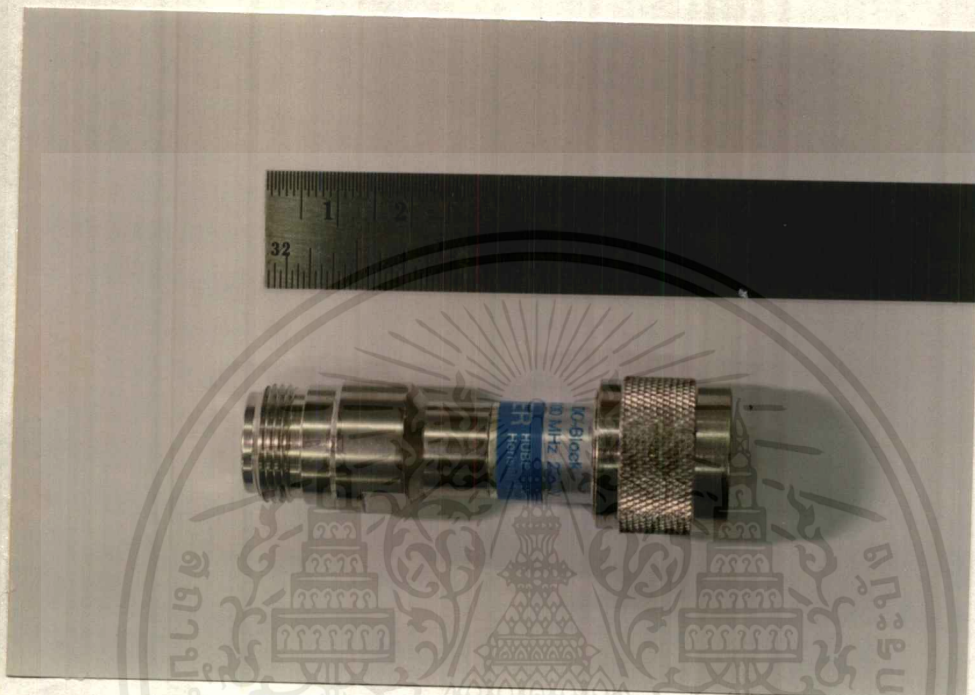
ขั้นตอนการทดลอง



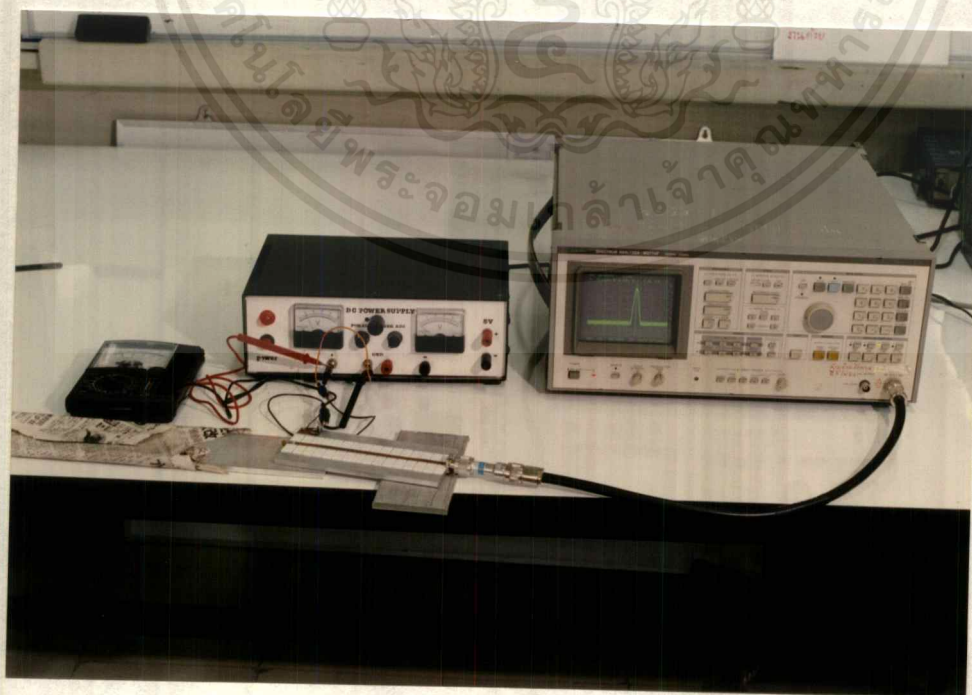
รูป 4.1 แสดงการต่อวงจรแก๊นออสซิลเลเตอร์ที่มีโครงสร้างแบบฟิรโอดิกในไมโครสตริป กับเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่

1. ต่อวงจรการวัดดังรูป 4.1 โดยต่อข้อต่อคัทสัญญาณกระแสตรงดังรูป 4.2 ไว้ก่อนที่จะต่อเข้ากับเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่
2. ตั้งช่วงความถี่ที่จะทำการวัด โดยใช้ความถี่เริ่มต้นเท่ากับ 9 GHz และความความถี่สิ้นสุดที่ 12 GHz
3. ป้อนศักดาไฟฟ้า 7 โวลท์ไบแอส (Bias) ให้แก่วงจรออสซิลเลเตอร์ตามข้อที่กำหนด โดยมีตัวเก็บประจุต่อกร่อมอยู่ด้วย เพื่อกันสัญญาณความถี่สูงจากวงจรย้อนกลับมารบกวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
4. ตั้งค่าให้ตัวชี้(marker)อยู่ในตำแหน่งสูงสุดของสัญญาณ และเลื่อนให้จุดสูงสุดของสัญญาณอยู่ตรงกลางของหน้าจอ
5. ตั้งความถี่ต่อช่องให้เหมาะสม (10 MHzต่อช่อง) และตั้งตัวชี้ให้อยู่ในตำแหน่งสูงสุดของสัญญาณอีกครั้ง
6. บันทึกค่าความถี่ที่ให้กำลังงานสูงสุด และค่ากำลังงานสูงสุดที่ได้ ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ตั้งตัวชี้ให้เป็นลักษณะแสดงค่ากำลังงานเปรียบเทียบ โดยให้เทียบกับกำลังงานสูงสุด
8. เลื่อนตัวชี้ให้อยู่ในที่ระดับกำลังงาน -3 dB แล้วบันทึกค่าความถี่ทั้งสองด้าน
9. คิดค่าแบนด์วิธ โดยใช้ความถี่ด้านสูงลบด้วยความถี่ด้านต่ำ
10. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 3 ถึงข้อ 9 โดยเปลี่ยนศักดาไฟฟ้าที่ไบอัสให้แก่วงจรออสซิลเลเตอร์เป็น 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 และ 15 โวลต์ตามลำดับ



รูป 4.2 แสดงข้อต่อคัตตัญญาณกระแสตรง



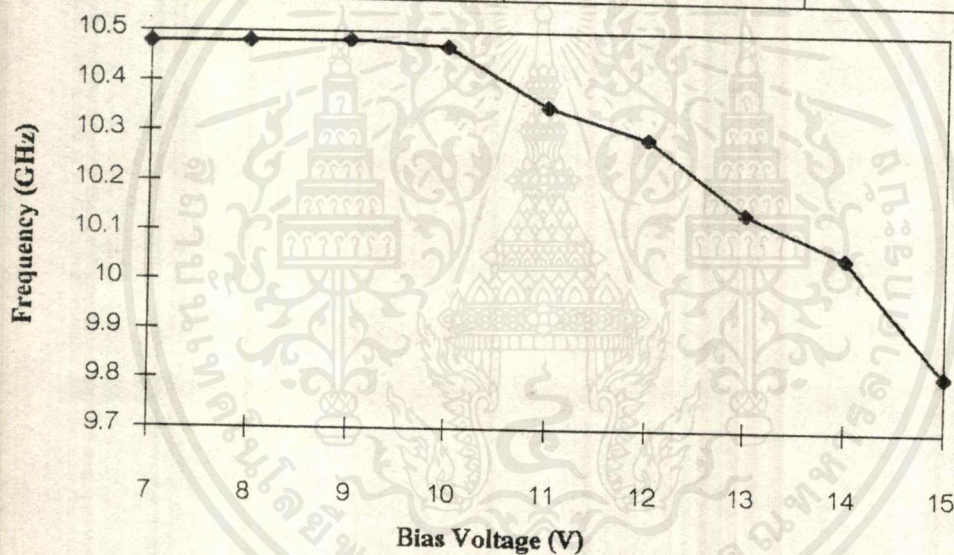
รูป 4.3 แสดงการทดลองวัดสัญญาณความถี่ของวงจรถักนออสซิลเลเตอร์ที่มีโครงสร้างแบบพีริโอดิก

เอกสารนี้เป็นไมโครสตริป วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

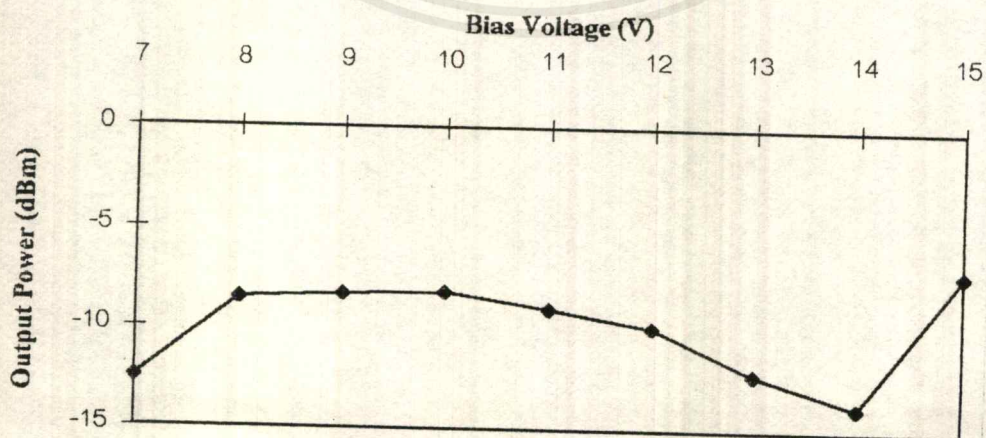
ผลการทดลอง

ตาราง 4.1 แสดงค่าความถี่ออสซิลเลต กำลังงานที่ได้ และแบนด์วิธที่การป้อนศักดาไฟฟ้าค่าต่าง ๆ

ศักดาไฟฟ้าไบอัส (V)	ความถี่ (GHz)	กำลังงาน (dBm)	แบนด์วิธ (MHz)
7	10.479	-12.5	1.6
8	10.481	-8.5	1.6
9	10.483	-8.3	1.6
10	10.469	-8.2	1.6
11	10.350	-9.0	1.6
12	10.286	-9.9	1.6
13	10.140	-12.2	1.6
14	10.050	-13.8	1.6
15	9.813	-7.1	1.6

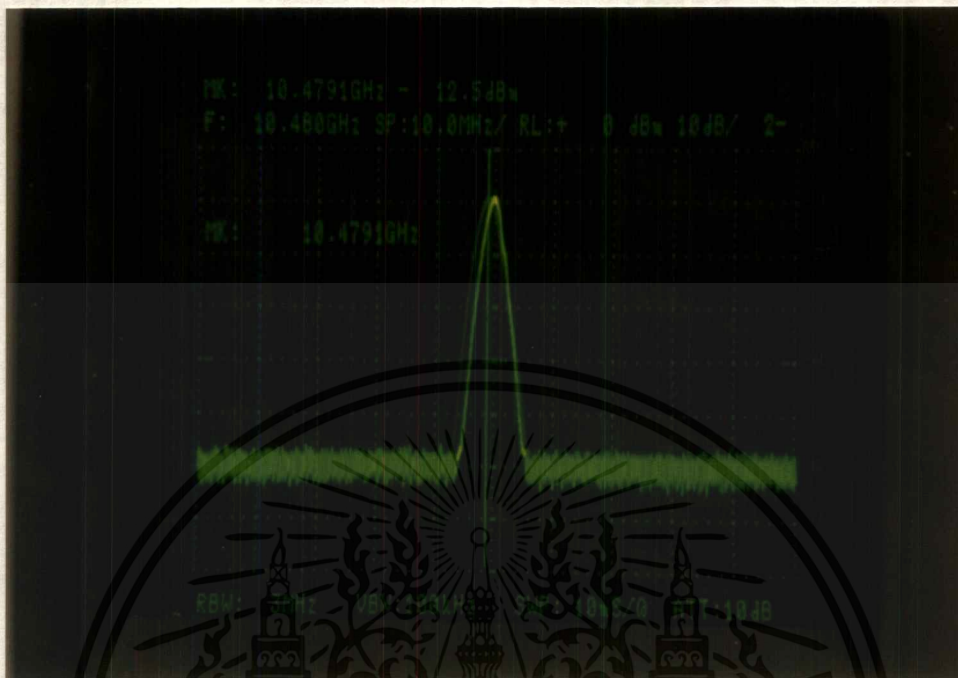


รูป 4.4 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างศักดาไฟฟ้าที่ไบอัสกับความถี่ออสซิลเลต

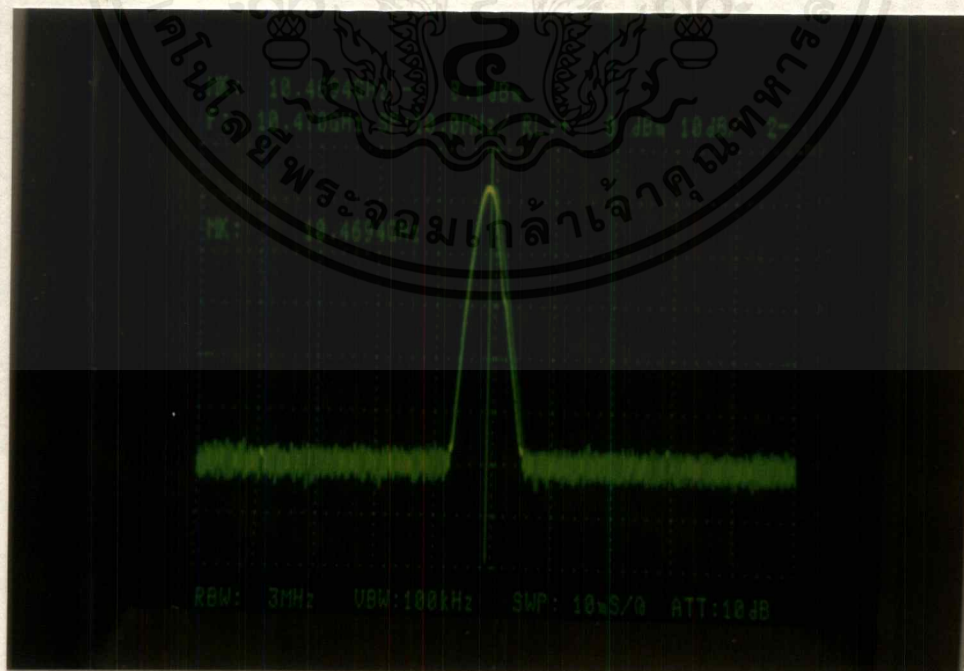


รูป 4.5 แสดงกราฟเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าไบอัสกับกำลังงานของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

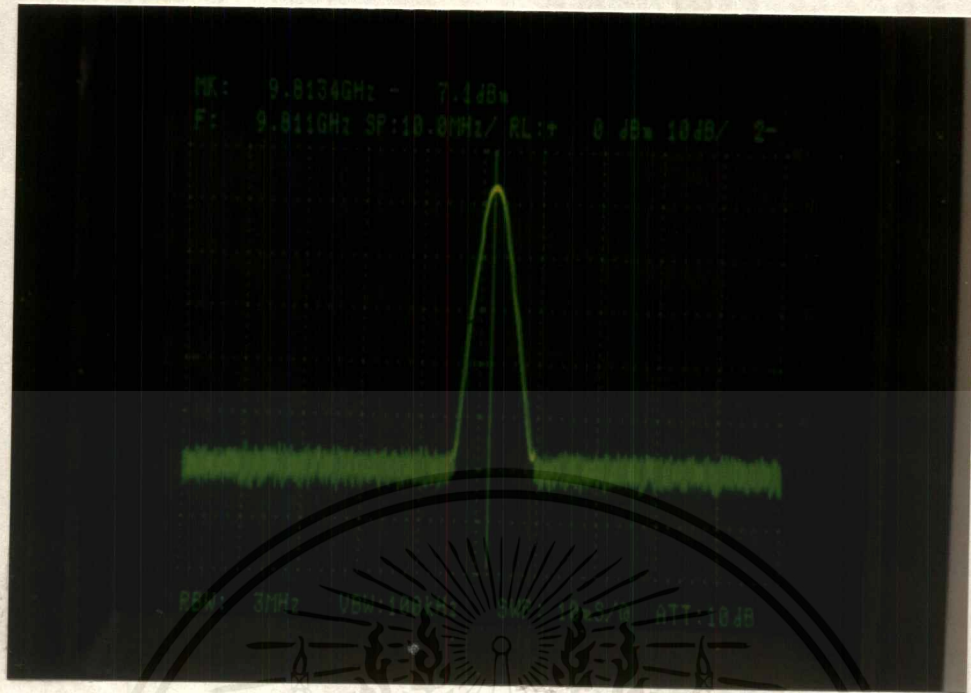


รูป 4.6 แสดงแถบความถี่ที่ได้จากการป้อนศักดา 7 โวลต์ สเตลแกนนอน 10 MHz/Div แแกนตั้ง 10 dB/Div



รูป 4.7 แสดงแถบความถี่ที่ได้จากการป้อนศักดา 10 โวลต์ สเตลแกนนอน 10 MHz/Div แแกนตั้ง 10 dB/Div

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.8 แสดงแถบความถี่ที่ได้จากการป้อนศักดา 15 โวลต์ สเตสแกนนอน 10 MHz/Div แกนตั้ง 10 dB/Div

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองวัดค่าความถี่ของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่มีโครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริป นั้นสามารถสรุปผลที่ได้จากการทดลองดังนี้

1. วงจรที่สร้างขึ้นสามารถกำเนิดความถี่ได้จริงในย่านความถี่ที่ต้องการ
2. ความถี่ที่ออสซิลเลชันมีค่าตั้งแต่ 9.813-10.483 GHz โดยการปรับศักดาไบอัสให้แก่วงจรตั้งแต่ 7-15 V โดยที่ค่าของความถี่ที่เกิดการออสซิลเลชัน ในช่วงการปรับศักดาไบอัส 7 -10 V นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากคือ ระหว่าง 10.469 -10.483 GHz ซึ่งถือว่ามีเสถียรภาพค่อนข้างดี ไม่ขึ้นกับศักดาไบอัส แต่หลังจากปรับศักดาไบอัส 11 - 15 V นั้น ค่าความถี่ที่เกิดการออสซิลเลชันจะมีค่าอยู่ระหว่าง 9.813 - 10.350 GHz ซึ่งถือว่ามีความเสถียรภาพที่ไม่ดี มีค่าเปลี่ยนแปลงตามศักดาไบอัสค่อนข้างสูง
3. ค่าความถี่ที่เกิดการออสซิลเลชัน ที่ได้จากการทดลองนี้ มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณในบทที่ 3 ที่มีค่าความถี่ออสซิลเลชันในช่วง 10.3 - 10.5 GHz
4. ค่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่ได้จะมีค่าคงที่ตลอดช่วงการไบอัส คือ ประมาณ 1.6 MHz
5. ค่ากำลังงานทางต้านเอาต์พุตจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ ค่าศักดาไบอัสประมาณ 10 V ซึ่งถือว่าเป็นจุดทำงานของท่อนำไอโอคที่ส่งกำลังงานออกได้มากที่สุด
6. ค่าความถี่ที่เกิดการออสซิลเลชันนี้ จะพบว่าไม่มีความถี่ฮาร์โมนิก (Harmonic) ข้างเคียง เกิดขึ้นเลย ทำให้วงจรนี้สามารถส่งกำลังงานออกได้ที่มีความถี่ค่าเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหา และ ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองจะพบว่า ค่าความถี่ที่ออสซิลเลตนั้นจะมีค่าที่ลดลง เมื่อค่าศักดาไบอัสเพิ่มขึ้นจาก 11 เป็น 15 โวลต์ ซึ่งทำให้เสถียรภาพของวงจรที่สร้างขึ้นนั้นไม่ดี ซึ่งอาจเกิดจากค่าความผิดพลาดในการสร้างอุปกรณ์ที่ ต้องการความละเอียดสูง , ค่าความผิดพลาดจากการบัดเสขของโปรแกรม ทำให้ค่าที่ได้ก็คลาดเคลื่อนไป , คุณภาพของตัวกั้นไมโครไดโอด หรือ ออหมุมที่เกิดขึ้นขณะที่ไดโอดทำงาน ซึ่งจะมีความร้อนสูงมาก โดยการที่จะ ทำให้ออสซิลเลตที่มีคุณภาพที่ดีขึ้นนั้น สามารถทำได้โดยเทคนิคของการทำวงจรรวม (Integrated Circuits) หรือ จะ ประกอบอุปกรณ์โดยใช้สารอเล็กโตรเวกซ์ (Electro Wax) ที่จะทำให้ออสซิลเลตที่สร้างขึ้นมีคุณภาพที่ดีขึ้น รวมไปถึง ระบบระบายความร้อนที่ดีเพื่อให้ผลของออหมุมมีผลกระทบต่อความถี่ออสซิลเลตน้อยที่สุด

ค่าแบนด์วิดท์ที่ได้นั้นมีค่าประมาณ 1.6 MHz ซึ่งค่าแบนด์วิดท์นี้สามารถทำให้แคบลงได้ โดยการเพิ่มจำนวน คาบของโครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริป ซึ่งจะทำให้แบนด์วิดท์นี้มีค่าที่แคบลง สามารถนำไปประยุกต์ ใช้ในวงจรที่ต้องการค่าแบนด์วิดท์ของการออสซิลเลตน้อย ๆ ได้

จากวงจรที่สร้างขึ้นนั้นจะพบว่า มีขนาดที่ค่อนข้างยาว จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานที่ต้องการขนาด ของวงจรที่มีขนาดเล็ก เช่น งานด้านดาวเทียม หรือ งานทางด้านวงจรรวมไมโครเวฟ ซึ่งเราสามารถทำให้ วงจรมีค่าความยาวที่ลดลงได้ โดยการเปลี่ยนชนิดของสารไดอิเล็กตริกให้มีค่ามาก และ มีความแตกต่างกันมาก จะทำให้ออสซิลเลตที่มีขนาดที่ลดลงได้

วงจรที่สร้างขึ้นนี้สามารถทำให้เป็นวงจรที่มีเอ๊าท์พุท 2 ทางได้ โดยการต่อปลายทางด้านที่ถูกช้อดให้มีรูป แบบโครงสร้างแบบพีริโอดิกต่อออกไป ซึ่งจะช่วยในการควบคุมความถี่ให้คงที่มากยิ่งขึ้น แต่อาจเกิดปัญหา จากการแบ่งกำลังงานออกไปทางอีกฝั่งหนึ่ง แทนที่จะออกทางด้านเดียว ทำให้กำลังงานที่ได้มีค่าที่ลดลง

โครงสร้างแบบพีริโอดิกนี้มีโครงสร้างที่ทำการสร้างได้ง่าย และ มีราคาที่ย่อมเยา รวมไปถึงการที่ไม่มี ฮาร์โมนิกข้างเคียงรบกวน และมีแบนด์วิดท์ที่แคบ ทำให้ออสซิลเลตที่สร้างขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ในวงจร ไมโครเวฟ ที่ต้องการความแม่นยำสูง ที่ใช้งบประมาณในการจัดสร้างน้อย ได้ดี

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

ปริญญาานิพนธ์เรื่อง โครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริปและการประยุกต์นี้ ชั้นแรกได้ทำการศึกษา ทฤษฎีพื้นฐานที่จะต้องใช้ในการออกแบบ(บทที่ 2) ซึ่งประกอบไปด้วยคุณสมบัติ การวิเคราะห์ และการสังเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายไมโครสตริป ทั้งรูปแบบที่ขึ้นกับความถี่ และ ไม่ขึ้นกับความถี่ และ ทฤษฎีของโครงสร้างแบบพีริโอดิก ได้แก่ การหาคุณสมบัติของโครงสร้างชนิดนี้ โดยใช้เมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่น , การหาค่าอินพุตแอมพิทูด , การหาช่วงผ่าน และ ช่วงหยุดของโครงสร้างโดยใช้ แผนภาพบริลลูอิน เป็นต้น ซึ่งจะนำทฤษฎีพื้นฐานดังกล่าวมาประยุกต์ออกแบบ(บทที่ 3) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรไมโครสตริป ให้มีผลตอบสนองทางความถี่ เป็น วงจรกรองก่าจัดแถบความถี่ และ วงจร ออสซิลเลเตอร์ ที่ใช้กันนำไดโอดเป็นอุปกรณ์ชนิดแอคทีฟ หลังจากนั้นได้ทำการสร้างวงจรต้นแบบ ตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบไว้ และ ทดลองวัดผลตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองก่าจัดแถบความถี่ที่มีจำนวนคาบต่าง ๆ กัน โดยจะทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย เปรียบเทียบกับค่าที่ได้คำนวณไว้ ส่วนของวงจรออสซิลเลเตอร์ นั้นได้ทำการวัดความถี่ออสซิลเลตของวงจร และ ค่าของ กำลังงานเอาต์พุต โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้ออกแบบไว้ (บทที่ 4) และ ได้ทำการสรุปผลการทดลองที่ได้ทำการทดสอบ และ สรุปถึงปัญหาที่เกิดขึ้น และ ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาที่ดียิ่งขึ้นต่อไป

ซึ่งจากการคำนวณ และ การทดลองที่ผ่านมาทำให้สามารถสรุปข้อดีของ โครงสร้างแบบพีริโอดิก ได้ดังนี้

1. เป็นโครงสร้างที่มีรูปแบบที่มีการสะท้อนคลื่นได้ดี ในย่านความถี่ที่ต้องการเพียงย่านเดียวเท่านั้น
2. เป็นโครงสร้างที่สร้างได้ง่าย และ เมื่อความถี่สูงขึ้นนั้นโครงสร้างจะมีขนาดเล็ก และ เหมาะสำหรับในงานทางด้าน โครงสร้างเชิงระนาบ (Planar Technology) กว่ารีโซเนเตอร์จำพวกแควิตีที่สร้างได้ยากในย่านความถี่สูง
3. ความสามารถในการสะท้อนคลื่นนั้น สามารถบังคับได้โดยการเพิ่มหรือลดจำนวนคาบของ โครงสร้าง หรือ เปลี่ยนค่าคงตัวไดอิเล็กตริกของสารเท่านั้น ทำให้ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลง
4. เป็นโครงสร้างที่สามารถทำงานได้โดยใช้สาร ไดอิเล็กตริกที่มีค่าน้อย ๆ ซึ่งต่างจากอุปกรณ์รีโซเนเตอร์ เช่น ไดอิเล็กตริกรีโซเนเตอร์ , ไดอิเล็กตริกแควิตี เป็นต้น ที่ต้องใช้สารที่มีค่าคงตัว ไดอิเล็กตริกสูงมาก ซึ่งเป็นสิ่งที่หาได้ยาก และมีราคาที่ยากแพงสูง
5. จาก คุณสมบัติการสะท้อนคลื่นที่ความถี่เดียวนี้ ทำให้เราสามารถใช้อุปกรณ์ชนิดแอคทีฟมากกว่า 1 ตัว ใส่ลงในวงจร เพื่อทำการเพ็งกำลังงานเอาต์พุต โดยทำการจัดวางให้เหมาะสม โดยไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับการคัปปลิง (Coupling) ให้เกิดความถี่ข้างเคียงจนกลายเป็นสัญญาณรบกวนขึ้นมา

ซึ่ง โครงสร้างแบบพีริโอดิกในไมโครสตริปนี้จะทำงานได้ดีหรือไม่ นั้น จะขึ้นอยู่กับ การออกแบบ และ การ จัดทำอุปกรณ์ที่ต้องอาศัย อุปกรณ์ในการจัดทำที่มีความแม่นยำสูง มิฉะนั้นแล้ว วงจรที่สร้างขึ้นมานั้น อาจจะมี ย่านความถี่ที่ทำงานเลือนออกไปจากย่านความถี่ที่ต้องการ หรือ อาจจะส่งผลให้วงจรไม่ทำงานได้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

เมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่น

เมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่น มีความสัมพันธ์กับแอมพลิจูดของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อน ที่รอยต่อ(Junction)ทั้งสองข้างของวงจร 2 พอร์ท ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะคล้ายกับความสัมพันธ์ของ เมตริกซ์การกระเจิง(Scattering Matrix) แต่เมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่นสามารถนำไปใช้วิเคราะห์โครงข่ายที่มีการส่งผ่านคลื่นจาก โครงข่ายย่อยหนึ่ง ไปยังอีก โครงข่ายย่อยหนึ่ง ได้ง่าย

กำหนด

$$c_1^+ = V_1^+ \tag{ก.1}$$

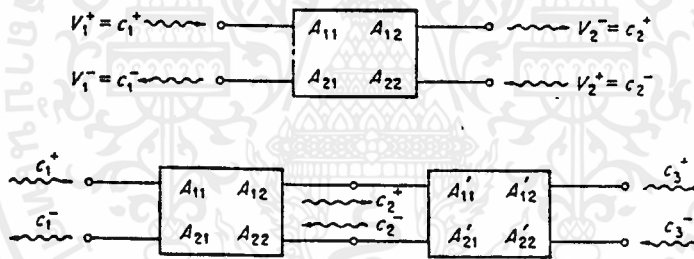
$$c_1^- = V_1^- \tag{ก.2}$$

$$c_2^+ = V_2^- \tag{ก.3}$$

$$c_2^- = V_2^+ \tag{ก.4}$$

$$c_3^+ = V_3^- \tag{ก.5}$$

$$c_3^- = V_3^+ \tag{ก.6}$$



รูป ก.1 แสดงเมตริกซ์การส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่นและการเชื่อมต่อแบบแคสเคด

ด้วยก(Superscript) + หมายถึง คลื่นที่มีทิศทางการแพร่กระจาย(Distribution)ไปทางด้านขวา และด้วยก - หมายถึง คลื่นที่มีทิศทางการแพร่กระจายไปทางด้านซ้าย ซึ่งสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตของ โครงข่ายได้ดังสมการ

$$\begin{bmatrix} c_1^+ \\ c_1^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_2^+ \\ c_2^- \end{bmatrix} \tag{ก.7}$$

และเมื่อนำ โครงข่าย 2 โครงข่ายมาต่อแคสเคดกัน จะได้เมตริกซ์รวมดังสมการ

$$\begin{bmatrix} c_1^+ \\ c_1^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A'_{11} & A'_{12} \\ A'_{21} & A'_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_3^+ \\ c_3^- \end{bmatrix} \tag{ก.8}$$

หากพิจารณาที่ โครงข่ายเดี่ยว ในรูปของเมตริกซ์การกระเจิงจะได้ดังสมการ

$$\begin{bmatrix} V_1^- \\ V_2^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1^- \\ c_2^+ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{12} & s_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1^+ \\ V_2^+ \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{12} & s_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1^+ \\ c_2^- \end{bmatrix} \tag{ก.9}$$

ซึ่งสามารถเขียนใหม่ได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} c_1^+ \\ c_1^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/s_{12} & -s_{22}/s_{12} \\ s_{11}/s_{12} & (s_{12}^2 - s_{11}s_{22})/s_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_2^+ \\ c_2^- \end{bmatrix} \quad (\text{ก.10})$$

จะ ได้ความสัมพันธ์ระหว่างเมตริกซ์ของการส่งผ่านของแอมพลิจูดของคลื่นกับเมตริกซ์การกระเจิง

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/s_{12} & -s_{22}/s_{12} \\ s_{11}/s_{12} & (s_{12}^2 - s_{11}s_{22})/s_{12} \end{bmatrix} \quad (\text{ก.11})$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

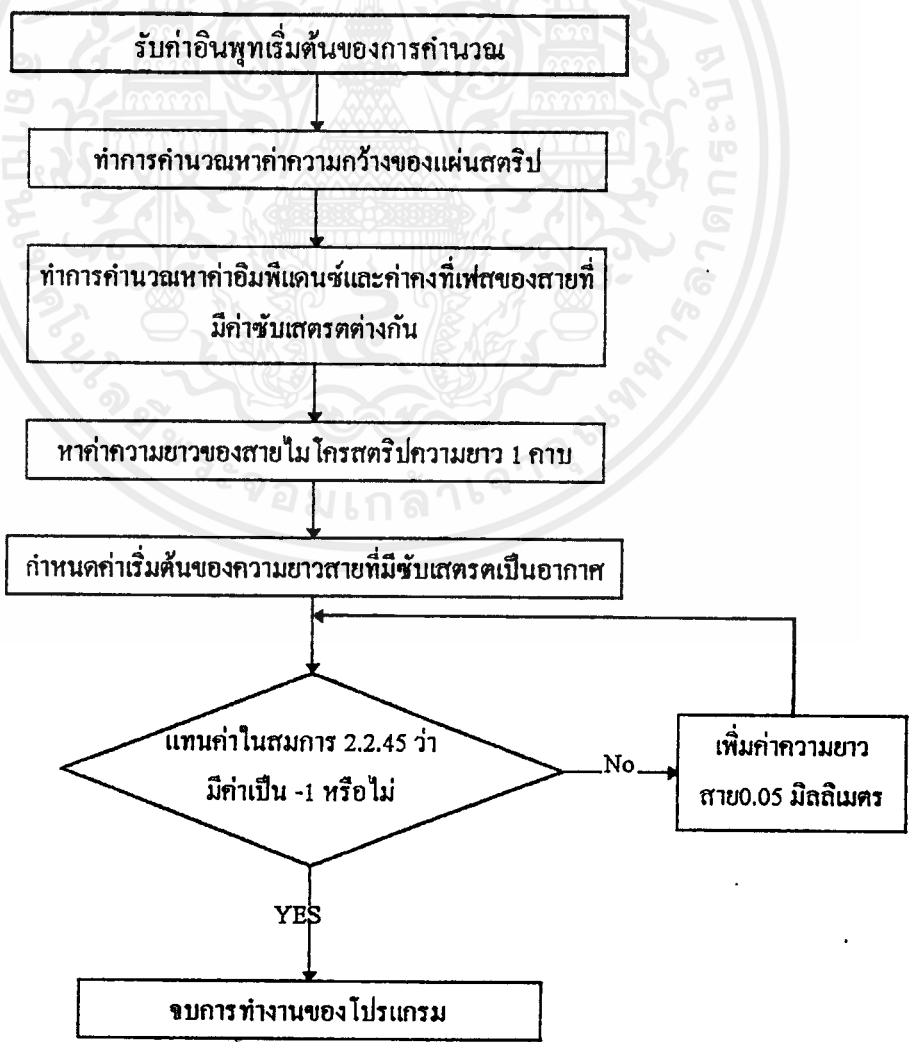
โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ

ข.1 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรกรองกำจัดแถบความถี่

โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณนี้จะเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าความยาวของโครงสร้างแบบฟิรโรอิกในไมโครสตริปใน 1 คาบว่ายาวเท่าไร และความยาวของสายที่มีชันสเตรตแต่ละชนิดว่ายาวเท่าไร พร้อมทั้งหาค่าความกว้างของแผ่นสตริป เพื่อใช้ในการสร้างเป็นวงจรจริงสำหรับการทดลองได้

โปรแกรมนี้จะเขียนขึ้นโดยใช้ภาษาซี [6] และทำการรันโปรแกรมโดยใช้เทอร์โบซี เวอร์ชัน 2.0 โดยที่สูตรต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าของสายไมโครสตริปนั้นจะใช้สูตรในการสังเคราะห์และวิเคราะห์ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 และการหาค่าความยาวของโครงสร้างแบบฟิรโรอิกในไมโครสตริป 1 คาบนี้จะใช้ความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.2.45 โดยที่ค่าของ $\beta d = \pi$ นั้นจะทำให้ค่าของ $\cos(\beta d)$ มีค่าเป็น -1 ซึ่งจะใช้ค่า -1 ในการหาค่าความยาวของสายแต่ละช่วงที่ประกอบด้วยชันสเตรต 2 ค่าต่างชนิดกัน

โปรแกรมนี้จะรับค่าอินพุตเข้ามา 4 ค่า คือ ค่าความถี่ของช่วงหยุด , ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ของสารไดอิเล็กตริกทั้ง 2 ชนิด และค่าความสูงของแผ่นไดอิเล็กตริกชันสเตรต โดยที่สามารถทำการเขียนแผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรม(Flow Chart) ได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นรูป ข.1 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมที่ใช้หาค่าวงจรกรองกำจัดแถบความถี่ โดยขึ้นด้านการคำนวณ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ(Source Code) จะแสดงไว้ดังนี้

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#define PI 3.141592654
float find_w(float epsi);
float find_z(float W_h,float eff);

main()
{
float stop,epsi_1,epsi_2,epsi_av,high,wide,s_length;
float epsi_eff1,epsi_eff2,Z1,Z2,beta1,beta2,int_loop,d1,d2,
res_d12;
float epsi_eff_av,beta_av,result_low,result_high,D1_low,
D2_low,D1_high;
float D2_high,del_d1,del_d2;

clrscr();
printf("*****\n");
printf("\n");
printf("PROGRAM FOR CALCULATE BANDSTOP FILTER USING
MICROSTRIP PERIODIC STRUCTURE\n");
printf("\n");
printf("*****\n");
printf("\n");
printf("Enter the stopband frequency (in GHz) : ");
scanf ("%f",&stop);
printf("Enter the relative permittivity of first stage :
");
scanf ("%f",&epsi_1);
printf("Enter the relative permittivity of second stage :
");
scanf ("%f",&epsi_2);
printf("Enter the height of the substrate (in mm) : ");
scanf ("%f",&high);
stop = stop*1e9;
high = high*1e-3;
epsi_av = (epsi_1+epsi_2)/2;
wide = find_w(eps_i_av);
epsi_eff_av = ((epsi_av+1)*0.5)+((epsi_av-1)*0.5*
pow(1+(10/wide),-0.5));
epsi_eff1 = ((epsi_1+1)*0.5)+((epsi_1-1)*0.5*
pow(1+(10/wide),-0.5));
epsi_eff2 = ((epsi_2+1)*0.5)+((epsi_2-1)*0.5*
pow(1+(10/wide),-0.5));
beta_av = 2*PI*stop*sqrt(eps_i_eff_av)/3e8;
s_length = PI/beta_av;
Z1 = find_z(wide,eps_i_eff1);
Z2 = find_z(wide,eps_i_eff2);
beta1 = 2*PI*stop*sqrt(eps_i_eff1)/3e8;
beta2 = 2*PI*stop*sqrt(eps_i_eff2)/3e8;

/*NEXT IS FOR OUTPUT SCREEN OF THIS PROGRAM*/
clrscr();
printf
("*****\n");
งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
```

```

printf ("\n");
printf("                                     THESE ARE THE RESULT\n");
printf ("\n");
printf
("*****\n");
printf ("\n");
printf ("THE STRIP WIDTH IS : %12.10f mm\n",wide*high*1e3);
printf ("THE LENGTH OF STRIP PER PERIOD IS : %12.10f
mm\n",s_length*1e3);
printf ("EFFECTIVE PERMITTIVITY OF FIRST STAGE IS :
%f\n",epsi_eff1);
printf ("EFFECTIVE PERMITTIVITY OF SECOND STAGE IS :
%f\n",epsi_eff2);
printf ("IMPEDANCE OF FIRST STAGE IS : %12.10f\n",Z1);
printf ("IMPEDANCE OF SECOND STAGE IS : %12.10f\n",Z2);

/*NEXT WILL FIND THE LENGTH OF D1 AND D2*/
d2 = s_length/2;
result_high = -0.999;
result_low = -1.001;
while (d2 < s_length)
{
d1 = s_length-d2;
res_d12 = (cos(beta1*d1)*cos(beta2*d2)) -
(0.5*((Z1/Z2)+(Z2/Z1))*sin(beta1*d1)*sin(beta2*d2));
if ((res_d12 > result_low) && (res_d12 <= -1)) {
result_low = res_d12;
D1_low = d1;
D2_low = d2; }
if ((res_d12 >= -1) && (res_d12 < result_high)){
result_high = res_d12;
D1_high = d1;
D2_high = d2;}
d2 = d2+(0.01*1e-3);
}
del_d1 = ((result_high+1)/(result_high-result_low))*
(D1_high-D1_low);
del_d2 = ((result_high+1)/(result_high-result_low))*
(D2_high-D2_low);
d1 = D1_high + del_d1;
d2 = D2_high + del_d2;
printf ("THE VALUE Of D1 IS %f mm AND D2 IS %f mm"
,d1*1e3,d2*1e3);
}/*END OF FUNCTION MAIN*/

```

```

/*THIS FUNCTION IS USE TO FIND THE WIDTH OF THE CONDUCTOR*/
float find_w(float epsi)
{

```

```

int Z_line = 50;
int Z_free = 120*PI;
float A1,A2,A3,A,W_h,B,B1,B2;
A1 = ((epsi-1)/(epsi+1))*(0.23+(0.11/epsi));
A2 = (PI*Z_line/Z_free)*sqrt(2*(epsi+1));
A = A1+A2;
A3 = (0.5*exp(A))-exp(-A);
W_h = 4*pow(A3,-1);
if (W_h<2) return W_h;
else {

```

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    B = (PI*Z_free)/(2*Z_line*sqrt(eps));
    B1 = (B-1-log10((2*B)-1))*(2/PI);
    B2 = (log10(B-1)+0.39-(0.61/eps))*((eps-1)/(PI*eps));
    W_h = B1+B2;
    return W_h;
}

/*THIS FUNCTION IS USE TO FIND CHARACTERISTIC IMPEDANCE OF
MICROSTRIP*/
float find_z(float W_h,float eff)
{
    float Z_free = 120*PI;
    float Z,A;
    if (W_h<1)
        Z = (Z_free/(2*PI*sqrt(eps)))*log((8/W_h)+(0.25*W_h));
    else { A = W_h+1.393+(0.667*log(W_h+1.444));
        Z = Z_free/(sqrt(eps)*A);
    }
    return Z;
}

```

เมื่อทำการรันโปรแกรมนี้แล้วจะมีผลที่แสดงออกทางหน้าจอ ดังนี้

```

*****
PROGRAM FOR CALCULATE BANDSTOP FILTER USING MICROSTRIP PERIODIC STRUCTURE
*****

```

```

Enter the stopband frequency (in GHz) : 10
Enter the relative permittity of first stage : 1
Enter the relative permittity of second stage : 2
Enter the height of the substrate (in mm) : 1.2

```

ค่าอินพุตที่ใส่เข้าไปนี้ได้มาจากบทที่ 3 โดยที่หลังจากทำการรันโปรแกรมเสร็จแล้วจะมีค่าเอาต์พุตออกมา ดังนี้

THESE ARE THE RESULT

```

*****
THE STRIP WIDTH IS : 5.6512026610 mm
THE LENGTH OF STRIP PER PERIOD IS : 12.54099004867 mm
EFFECTIVE PERMITTTY OF FIRST STAGE IS : 1.000000
EFFECTIVE PERMITTTY OF SECOND STAGE IS : 1.861205
IMPEDANCE OF FIRST STAGE IS : 51.5418624878

```

การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPEDANCE OF SECOND STAGE IS : 37.7800941467

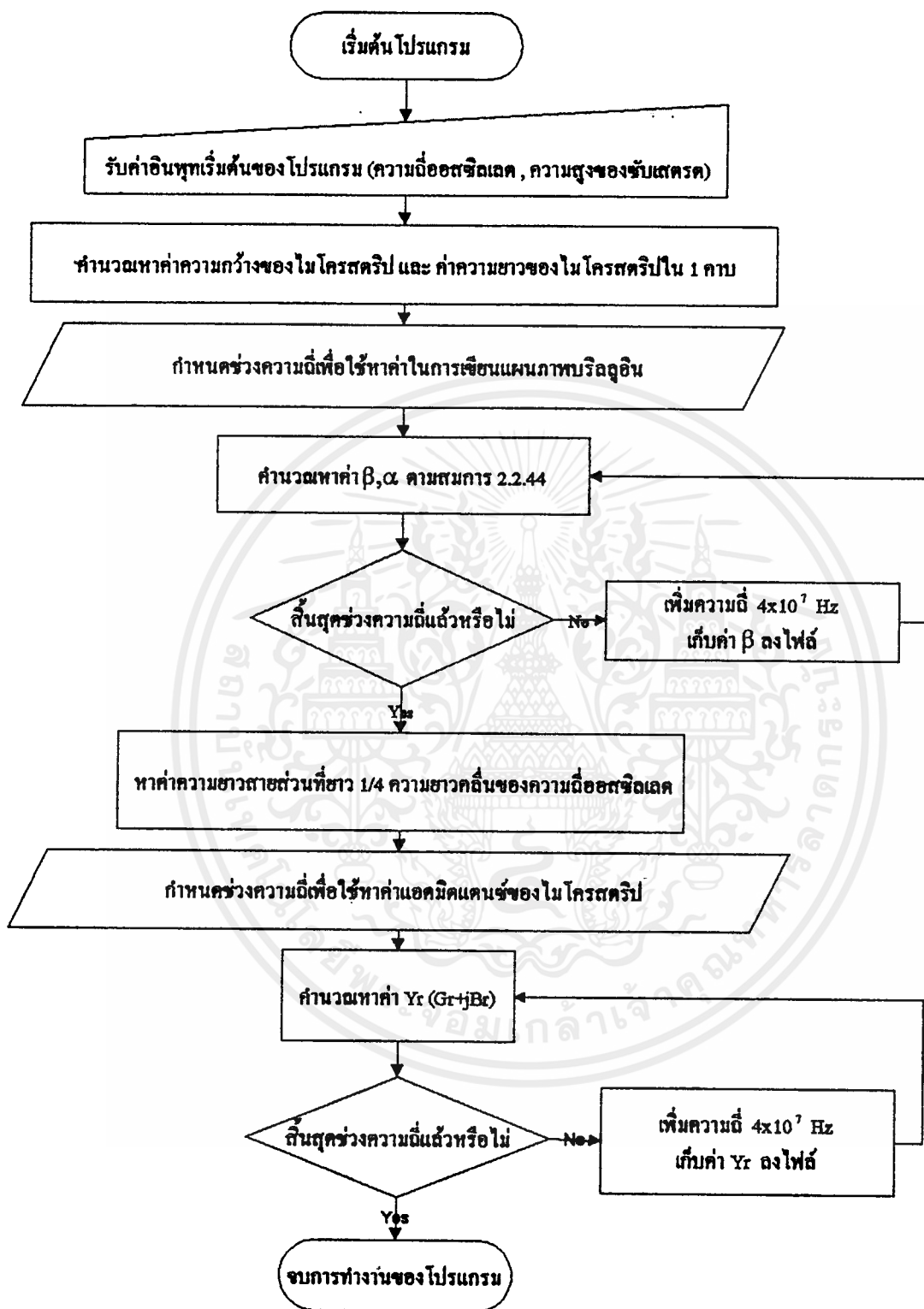
THE VALUE OF D1 IS 3.420518 mm AND D2 IS 9.120473 mm

ค่าที่ได้เหล่านี้ สามารถนำไปใช้ในการสร้างเป็นวงจรกรองก่าจัดแถบความถี่จริงได้ ดังแสดงในบทที่ 3 ที่เป็นวงจรต้นแบบ

ข.2 โปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรถักน้อตซิลเลเตอร์

โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมที่ใช้ ในการหาค่าความยาวของโครงสร้างแบบฟิรโอคิกในไมโครสตริปใน 1 กาบ , ความยาวของสายที่มีชั้นสเตรตแต่ละชนิด , ความกว้างของแผ่นตัวนำด้านบนของไมโครสตริป พร้อมทั้งหาค่า β และ α เพื่อใช้ในการเขียนแผนภาพบริลลูอิน เพื่อหาความถี่ที่เป็นช่วงหยุด และ หาค่า $Y_r (G_r + jB_r)$ ของโครงสร้างแบบฟิรโอคิกในไมโครสตริป จำนวน 15 กาบ

โปรแกรมนี้เขียนขึ้นบนภาษาซี และ ทำการรันบน เทอร์โบซี เวอร์ชัน 2.0 โดยที่สูตรต่าง ๆ ที่ใช้นั้นได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 เป็นโปรแกรมที่ทำการประยุกต์ต่อจาก โปรแกรมที่ใช้หาค่าของวงจรถักน้อตซิลเลเตอร์ ซึ่งโปรแกรมนี้จะทำการรับค่าอินพุตมา 2 ค่า คือ ค่าความถี่ที่จะเกิดการออสซิลเลต และ ค่าความสูงของชั้นสเตรต โดยที่กำหนดชนิดของสารไดอิเล็กตริกชั้นสเตรตทั้ง 2 ชนิด เป็น อากาศ ($\epsilon_r = 1$) และ เทฟลอน ($\epsilon_r = 2$) เราสามารถเขียนแผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมได้ดังนี้



รูป ข.2 แผนภาพแสดงการทำงานของโปรแกรมที่ใช้หาค่าของวงจรรอสวิตช์

รายละเอียดของโปรแกรมที่ใช้ในการทำงานจะสามารถแสดงได้ดังนี้

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#define PI 3.141592654
#define C 2.99793e8
#define U0 400*PI*9.999999e-10
#define E0 8.85149e-12

float find_w(float epsi);
float find_z(float W0,float eff,float high);

main()
{
FILE *beta,*Y12;
int p,m;
float t = 0.1*1e-3;
float
stop,H,E1,E2,Eav,W_h0,W0,ER1,ER2,Z01,Z02,WFF1,WFF2,EF1,EF2;
float
WEF1,WEF2,Z1F,Z2F,OM_stop,ERav,EFav,Tav,Zav,B1,B2,Bav,D,D1,D2
,res_d12;
float
res_low,res_high,D1_low,D2_low,D1_high,D2_high,del_d1,del_d2,
D1c,D2c;
float
Dx,U,OM,X,x1,x2,x3,fx1,fx2,fx3,U_low,U_high,X1[2],U1[2],AR[4]
,AI[4];
float BR[4],BI[4],CR[4],CI[4];
float Y2,Yinr,Yini,Zin,L,RR,RI,R,Y12r,Y12i,A,B;
double T1,T2;
clrscr();
printf
("*****
*****\n");
printf (" PROGRAM FOR CALCULATE DBR GUNN OSCILLATOR USING
MICROSTRIP PERIODIC STRUCTURE\n");
printf ("\n");
printf
("*****
*****\n");
printf ("Enter the oscillation frequency (GHz) : ");
scanf ("%f",&stop);
printf ("Enter height of substrate (mm) : ");
scanf ("%f",&H);
E1 = 1; E2 = 2;
stop = stop*1e9;
H = H*1e-3;
Eav = (E1*0.21)+(E2*0.8);
W_h0 = find_w(Eav);
W0 = W_h0*H;
clrscr();
printf
("*****
*****\n");
printf ("
OUTPUT \n");
printf ("\n");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

printf
("*****\n");
printf ("The strip width is %f mm\n",W0*1e3);
if (W_h0 <= 1/(2*PI)) W0 = W0 +
((1.25*t/PI)*(1+log(4*PI*W0/t)));
else W0 = W0 + ((1.25*t/PI)*(1+log(2*H/t)));
W_h0 = W0/H;
ERav = ((Eav+1)/2)+(((Eav-1)/2)*pow(1+(12/W_h0),-0.5))-
((Eav-1)*t/(4.6*H*sqrt(W_h0)));
ER1 = ((E1+1)/2)+(((E1-1)/2)*pow(1+(12/W_h0),-0.5))-
((E1-1)*t/(4.6*H*sqrt(W_h0)));
ER2 = ((E2+1)/2)+(((E2-1)/2)*pow(1+(12/W_h0),-0.5))-
((E2-1)*t/(4.6*H*sqrt(W_h0)));
Zav = find_z(W0,ERav,H);
Z01 = find_z(W0,ER1,H);
Z02 = find_z(W0,ER2,H);
WFF1 = 120*PI*H/(Z01*sqrt(ER1));
WFF2 = 120*PI*H/(Z02*sqrt(ER2));
Tav = C*C*Zav*E0*sqrt(Eav)/(2*H*sqrt(ERav));
T1 = C*C*Z01*E0*sqrt(E1)/(2*H*sqrt(ER1));
T2 = C*C*Z02*E0*sqrt(E2)/(2*H*sqrt(ER2));

/*Next will find value of basic component at stopband*/
EFav = Eav-((Eav-ERav)/(1+pow(stop/Tav,2)));
EF1 = E1-((E1-ER1)/(1+pow(stop/T1,2)));
EF2 = E2-((E2-ER2)/(1+pow(stop/T2,2)));
WEF1 = W0+((WFF1-W0)/(1+pow(stop/T1,2)));
WEF2 = W0+((WFF2-W0)/(1+pow(stop/T2,2)));
Z1F = 120*PI*H/(WEF1*sqrt(EF1));
Z2F = 120*PI*H/(WEF2*sqrt(EF2));
OM_stop = 2*PI*stop;
Bav = OM_stop*sqrt(U0*E0*EFav);
D = PI/Bav;
B1 = OM_stop*sqrt(U0*E0*EF1);
B2 = OM_stop*sqrt(U0*E0*EF2);
/*Next will find the value of D1 and D2*/
D2 = D/2;
res_low = -1.001;
res_high = -0.999;
while (D2 <= D) {
D1 = D-D2;
res_d12 = (cos(B1*D1)*cos(B2*D2))-(0.5*((Z1F/Z2F)+(Z2F/Z1F))
*sin(B1*D1)*sin(B2*D2));
if ((res_d12 > res_low) && (res_d12 <= -1)){
res_low = res_d12;
D1_low = D1;
D2_low = D2;} /*end of IF*/
if ((res_d12 < res_high) && (res_d12 >= -1)){
res_high = res_d12;
D1_high = D1;
D2_high = D2;} /*end of IF*/
D2 += 0.01e-3;
} /*end of loop while*/
del_d1 = (res_high+1)*((D1_high-D1_low)/(res_high-res_low));
del_d2 = (res_high+1)*((D2_high-D2_low)/(res_high-res_low));
D1c = D1_low+del_d1;
D2c = D2_low+del_d2;
Dx = 0;

```

```

while (D1c-Dx > 0.05e-3) Dx += 0.05e-3;
D1 = Dx;
while (D2c-Dx > 0.05e-3) Dx += 0.05e-3;
D2 = Dx;
/*Next will use the basic value to calculate beta and
Yr,Yin*/
if ((beta = fopen("beta_d.dat","w")) == NULL){
    printf ("Error in opening file beta_d1.dat\n");
    exit(1); }
fprintf (beta," Frequency                BETA\n");
U_low = 1.3e10; U_high = 9e9;
for (U = 8.9999999e9 ; U <= 1.2e10 ; U = U+4e7){
    fprintf (beta,"%0.8e      ",U);
    EF1 = E1-((E1-ER1)/(1+pow(U/T1,2)));
    EF2 = E2-((E2-ER2)/(1+pow(U/T2,2)));
    WEF1 = W0+((WFF1-W0)/(1+pow(U/T1,2)));
    WEF2 = W0+((WFF2-W0)/(1+pow(U/T2,2)));
    Z1F = 120*PI*H/(WEF1*sqrt(EF1));
    Z2F = 120*PI*H/(WEF2*sqrt(EF2));
    OM = 2*PI*U;
    B1 = OM*sqrt(E0*U0*EF1);
    B2 = OM*sqrt(E0*U0*EF2);
    X = (cos(B1*D1)*cos(B2*D2))-(0.5*((Z1F/Z2F)+(Z2F/Z1F))*
        sin(B1*D1)*sin(B2*D2));
    if (fabs(X) < 1) {
        x1 = 0; x2 = PI/2; p = 2;
        while (p>0) { fx1 = cos(x1)-X;
            if (fabs(fx1) < 1e-7) fprintf(beta,"%f ",x1/PI);
            else if (fabs(fx2 = cos(x2)-X) < 1e-7) fprintf(beta,"%f
",x2/PI);
            else if (fabs(x1-x2) < 1e-7) fprintf(beta,"%f
",x2/PI);
            else {
                x3 = x2-(fx2*(x2-x1)/(fx2-fx1));
                fx3 = cos(x3)-X;
                while ((fabs(x1-x2) > 1e-7) && (fabs(fx3) > 1e-7))
                {
                    if (fx3*fx1 < 0) { x2 = x3; fx2 = fx3;}
                    else { x1 = x3; fx1 = fx3;}
                    x3 = x2-(fx2*(x2-x1)/(fx2-fx1));
                    fx3 = cos(x3)-X; } /*end of loop while*/
                if (fabs(x1-x2) < 1e-7) fprintf (beta,"%f ",x2/PI);
                else if (fabs(fx3) < 1e-7) fprintf (beta,"%f
",x3/PI);
            } /* end of IF fabs fx1 fx2 fx3*/
        p = p-1;
        if (p>0) { x1 = 0; x2 = -PI/2;}
        } /*end of loop while p>0*/
    } /*end of IF fabs(X)*/
else {
    if (U < U_low) U_low = U;
    if (U > U_high) U_high = U;
    x1 = 0; x2 = 1;
    fx1 = (-exp(x1)+exp(-x1))/2) - X;
    if (fabs(fx1) < 1e-7) fprintf(beta,"%f ",x1/PI);
    else if (fabs(fx2 = (-exp(x2)+exp(-x2))/2) - X) < 1e-7)
        fprintf (beta,"%f ",x2/PI);
    else if (fabs(x1-x2) < 1e-7) fprintf(beta,"%f ",x2/PI);
    else {

```

```

x3 = x2-(fx2*(x2-x1)/(fx2-fx1));
fx3 = (- (exp(x3)+exp(-x3))/2) - X;
while ((fabs(x1-x2) > 1e-7) && (fabs(fx3) > 1e-7)) {
    if ((fx3*fx1) < 0) { x2 = x3; fx2 = fx3;}
    else { x1 = x3; fx1 = fx3;}
    x3 = x2-(fx2*(x2-x1)/(fx2-fx1));
    fx3 = (- (exp(x3)+exp(-x3))/2)-X; } /*end of loop
while*/
    if (fabs(x1-x2) < 1e-7) fprintf(beta,"%f ",x2/PI);
    else if (fabs(fx3) < 1e-7) fprintf (beta,"%f
",x3/PI);
    } /* end of else fx1 fx2 fx3*/
    } /*end of else fabs(X)*/
    fprintf (beta,"\n");
} /*end of loop for U*/
fclose(beta);
X1[0] = -0.8; X1[1] = -0.9; U = U_low; U1[1] = 0;
while ( (fabs(X1[1]) - fabs(X1[0])) > 0) && (U <= U_high))
{
    EF1 = E1-((E1-ER1)/(1+pow(U/T1,2)));
    EF2 = E2-((E2-ER2)/(1+pow(U/T2,2)));
    WEF1 = W0+((WFF1-W0)/(1+pow(U/T1,2)));
    WEF2 = W0+((WFF2-W0)/(1+pow(U/T2,2)));
    Z1F = 120*PI*H/(WEF1*sqrt(EF1));
    Z2F = 120*PI*H/(WEF2*sqrt(EF2));
    OM = 2*PI*U;
    B1 = OM*sqrt(U0*E0*EF1);
    B2 = OM*sqrt(U0*E0*EF2);
    U1[0] = U1[1];
    U1[1] = U;
    X1[0] = X1[1];
    X1[1] = (cos(B1*D1)*cos(B2*D2))-(0.5*((Z1F/Z2F)+(Z2F/Z1F))*
        sin(B1*D1)*sin(B2*D2));
    U = U+1e6;
} /*end of loop U = U_low*/

    EF1 = E1-((E1-ER1)/(1+pow(U1[0]/T1,2)));
    EF2 = E2-((E2-ER2)/(1+pow(U1[0]/T2,2)));
    WEF1 = W0+((WFF1-W0)/(1+pow(U1[0]/T1,2)));
    WEF2 = W0+((WFF2-W0)/(1+pow(U1[0]/T2,2)));
    Z1F = 120*PI*H/(WEF1*sqrt(EF1));
    Z2F = 120*PI*H/(WEF2*sqrt(EF2));
    OM = 2*PI*U1[0];
    B1 = OM*sqrt(U0*E0*EF1);
    B2 = OM*sqrt(U0*E0*EF2);

AR[0] = (cos(B1*D1)*cos(B2*D2))-(0.5*((Z1F/Z2F)+(Z2F/Z1F))
* sin(B1*D1)*sin(B2*D2));
AR[1] = 0;
AR[2] = 0;
AR[3] = AR[0];
AI[0] = (cos(B1*D1)*sin(B2*D2))+(0.5*((Z1F/Z2F)+(Z2F/Z1F))
* sin(B1*D1)*cos(B2*D2));
AI[2] = 0.5*((Z1F/Z2F)-(Z2F/Z1F))*sin(B1*D1);
AI[1] = -AI[2];
AI[3] = -AI[0];

BR[0] = AR[0]; BR[1] = AR[1]; BR[2] = AR[2]; BR[3] = AR[3];
BI[0] = AI[0]; BI[1] = AI[1]; BI[2] = AI[2]; BI[3] = AI[3];

```

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for (m = 2; m <= 15; m++){
CR[0] = (AR[0]*BR[0])+(AR[1]*BR[2])-(AI[0]*BI[0])-(
AI[1]*BI[2]);
CR[1] = (AR[0]*BR[1])+(AR[1]*BR[3])-(AI[0]*BI[1])-(
AI[1]*BI[3]);
CR[2] = (AR[2]*BR[0])+(AR[3]*BR[2])-(AI[2]*BI[0])-(
AI[3]*BI[2]);
CR[3] = (AR[2]*BR[1])+(AR[3]*BR[3])-(AI[2]*BI[1])-(
AI[3]*BI[3]);
CI[0] =
(AR[0]*BI[0])+(AR[1]*BI[2])+(AI[0]*BR[0])+(AI[1]*BR[2]);
CI[1] =
(AR[0]*BI[1])+(AR[1]*BI[3])+(AI[0]*BR[1])+(AI[1]*BR[3]);
CI[2] =
(AR[2]*BI[0])+(AR[3]*BI[2])+(AI[2]*BR[0])+(AI[3]*BR[2]);
CI[3] =
(AR[2]*BI[1])+(AR[3]*BI[3])+(AI[2]*BR[1])+(AI[3]*BR[3]);
AR[0] = CR[0]; AR[1] = CR[1]; AR[2] = CR[2]; AR[3] = CR[3];
AI[0] = CI[0]; AI[1] = CI[1]; AI[2] = CI[2]; AI[3] = CI[3];
} /*end of loop for m*/
Y2 = 1/Z2F;
Yinr = Y2*(pow(AR[0],2)-pow(AR[2],2)+pow(AI[0],2)-
pow(AI[2],2))/
(pow(AR[0]+AR[2],2)+pow(AI[0]+AI[2],2));
Yini = 2*Y2*((AI[0]*AR[2])-(AR[0]*AI[2]))/
(pow(AR[0]+AR[2],2)+pow(AI[0]+AI[2],2));
Zin = 1/sqrt(pow(Yinr,2)+pow(Yini,2));
L = 2*PI*Zin*C/(Z01*OM*4);
printf ("Value of D1 is %f mm and D2 is %f
mm\n",D1*1e3,D2*1e3);
printf ("The Lambda / 4 length is %f mm\n",L*1e3);
if ((Y12 = fopen("Y12_D.DAT","w")) == NULL){
printf ("Error in opennig file Y12_D1.DAT\n");
exit(1);
}
/*Next will find the admittance of periodic structure*/
for (U = 8.999999e9; U <= 1.2e10; U = U+4e7) {
EF1 = E1-((E1-ER1)/(1+pow(U/T1,2)));
EF2 = E2-((E2-ER2)/(1+pow(U/T2,2)));
WEF1 = W0+((WFF1-W0)/(1+pow(U/T1,2)));
WEF2 = W0+((WFF2-W0)/(1+pow(U/T2,2)));
Z1F = 120*PI*H/(WEF1*sqrt(EF1));
Z2F = 120*PI*H/(WEF2*sqrt(EF2));
OM = 2*PI*U;
B1 = OM*sqrt(U0*E0*EF1);
B2 = OM*sqrt(U0*E0*EF2);
AR[0] = (cos(B1*D1)*cos(B2*D2))-(0.5*((Z1F/Z2F)+(Z2F/Z1F))
*sin(B1*D1)*sin(B2*D2));
AR[1] = 0;
AR[2] = 0;
AR[3] = AR[0];
AI[0] = (cos(B1*D1)*sin(B2*D2))+(0.5*((Z1F/Z2F)+(Z2F/Z1F))
*sin(B1*D1)*cos(B2*D2));
AI[2] = 0.5*((Z1F/Z2F)-(Z2F/Z1F))*sin(B1*D1);
AI[1] = -AI[2];
AI[3] = -AI[0];

```

BR[0] = AR[0]; BR[1] = AR[1]; BR[2] = AR[2]; BR[3] = AR[3];

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

BI[0] = AI[0]; BI[1] = AI[1]; BI[2] = AI[2]; BI[3] = AI[3];
for (m = 2; m <= 15; m++){
CR[0] = (AR[0]*BR[0])+(AR[1]*BR[2])-(AI[0]*BI[0])-(
AI[1]*BI[2]);
CR[1] = (AR[0]*BR[1])+(AR[1]*BR[3])-(AI[0]*BI[1])-(
AI[1]*BI[3]);
CR[2] = (AR[2]*BR[0])+(AR[3]*BR[2])-(AI[2]*BI[0])-(
AI[3]*BI[2]);
CR[3] = (AR[2]*BR[1])+(AR[3]*BR[3])-(AI[2]*BI[1])-(
AI[3]*BI[3]);
CI[0] =
(AR[0]*BI[0])+(AR[1]*BI[2])+(AI[0]*BR[0])+(AI[1]*BR[2]);
CI[1] =
(AR[0]*BI[1])+(AR[1]*BI[3])+(AI[0]*BR[1])+(AI[1]*BR[3]);
CI[2] =
(AR[2]*BI[0])+(AR[3]*BI[2])+(AI[2]*BR[0])+(AI[3]*BR[2]);
CI[3] =
(AR[2]*BI[1])+(AR[3]*BI[3])+(AI[2]*BR[1])+(AI[3]*BR[3]);
AR[0] = CR[0]; AR[1] = CR[1]; AR[2] = CR[2]; AR[3] = CR[3];
AI[0] = CI[0]; AI[1] = CI[1]; AI[2] = CI[2]; AI[3] = CI[3];
} /*end of loop for m*/
Y2 = 1/Z2F;
RR =
((AR[0]*AR[2])+(AI[0]*AI[2]))/(pow(AR[0],2)+pow(AI[0],2));
RI = ((AR[0]*AI[2])-(
AR[2]*AI[0]))/(pow(AR[0],2)+pow(AI[0],2));
R = sqrt((RR*RR)+(RI*RI));
Yinr = Y2*(pow(AR[0],2)-pow(AR[2],2)+pow(AI[0],2)-
pow(AI[2],2))/
(pow(AR[0]+AR[2],2)+pow(AI[0]+AI[2],2));
Yini = 2*Y2*((AI[0]*AR[2])-(AR[0]*AI[2]))/
(pow(AR[0]+AR[2],2)+pow(AI[0]+AI[2],2));
Y12r = Y2*Y2*Yinr/(pow((Y2*cos(B2*L))-(Yini*sin(B2*L)),2)+
pow(Yinr*sin(B2*L),2));
A = (Yini*Y2*cos(2*B2*L))-
(cos(B2*L)*sin(B2*L)*(pow(Yini,2)+pow(Yinr,2)-
pow(Y2,2)));
B = pow((Y2*cos(B2*L))-
(Yini*sin(B2*L)),2)+pow(Yinr*sin(B2*L),2);
Y12i = (Y2*A/B);
fprintf (Y12,"%e %e %e %f\n",U,Y12r,Y12i,R);
} /*end of loop for U*/
fclose (Y12);
printf ("The value of Beta*D is save in file BETA_D.DAT\n");
printf ("The microstrip admittance is save in file
Y12_D.DAT\n");
} /*End of program*/

```

```

/*Function that use to find the width of microstrip*/
float find_w(float epsi)
{

```

```

float Z_line = 50 ;
float Z_free = 120*PI;
float A1,A2,A3,B,B1,B2,W_h;
A1 = ((epsi-1)/(epsi+1))*(0.23+(0.11/epsi));
A2 = ((PI*Z_line/Z_free)*sqrt(2*(epsi+1)))+A1;
A3 = (0.5*exp(A2))-exp(-A2);
W_h = 4*pow(A3,-1);

```

if(W_h <= 2) return W_h; ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

A1 = ((epsi-1)/(epsi+1))*(0.23+(0.11/epsi));
A2 = ((PI*Z_line/Z_free)*sqrt(2*(epsi+1)))+A1;
A3 = (0.5*exp(A2))-exp(-A2);
W_h = 4*pow(A3,-1);
if (W_h < 2) return W_h;
else {
    B = (PI*Z_free)/(2*Z_line*sqrt(epsi));
    B1 = (B-1-log10((2*B)-1))*(2/PI);
    B2 = (log10(B-1)+0.39-(0.61/epsi))*((epsi-
1)/(PI*epsi));
    W_h = B1+B2;
    return W_h;
}
}

/*Function that use to find impedance of microstrip*/
float find_z(float W0,float eff,float high)
{
    float W_h = W0/high;
    float Z,A;
    if (W_h <= 1) Z = (60/sqrt(eff))*log((8/W_h)+(0.25*W_h));
    else {
        A = W_h+1.393+(0.667*log(W_h+1.444));
        Z = 376.7/(sqrt(eff)*A);
    }
return Z;
}

```

เมื่อทำการรันโปรแกรมแล้วจะได้ผลที่แสดงออกมาทางหน้าจอดังนี้

```

*****
PROGRAM FOR CALCULATE DBR GUNN OSCILLATOR USING MICROSTRIP PERIODIC STRUCTURE
*****
Enter the oscillation frequency (GHz) : 10
Enter height of substrate (mm) : 1.2

```

ภายหลังที่ทำการรันโปรแกรมแล้วจะได้ค่าเอาต์พุตแสดงออกมาทางหน้าจอดังนี้

```

*****
OUTPUT
*****

```

```

The strip width is 5.190582 mm
Value of D1 is 1.500000 mm and D2 is 9.499988 mm
The Lambda / 4 length is 5.961940 mm
The value of Beta*D is save in file BETA_D.DAT
The microstrip admittance is save in file Y12_D.DAT

```

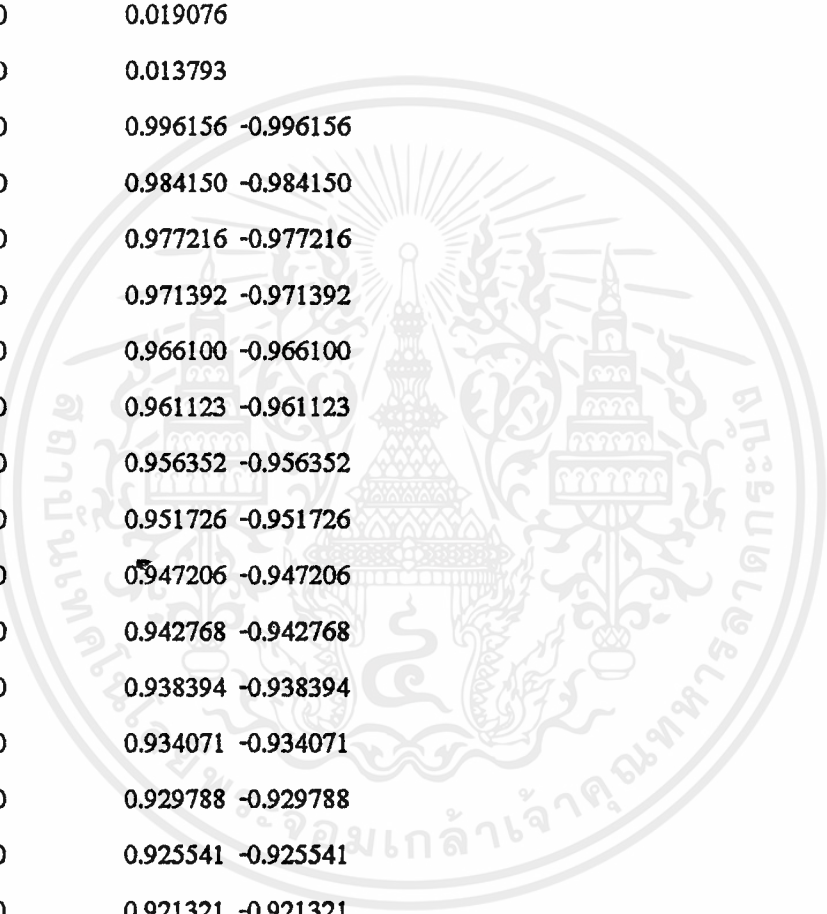
ค่าที่ได้เหล่านี้สามารถนำมาสร้างเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ได้ดังแสดงรูปในบทที่ 3 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า β และ α ที่ได้จากการรันโปรแกรมสามารถแสดง ได้ดังนี้

Frequency	BETA
8.9999995e+09	0.864965 -0.864965
9.0399990e+09	0.868978 -0.868978
9.0799985e+09	0.872997 -0.872997
9.1199980e+09	0.877023 -0.877023
9.1599974e+09	0.881056 -0.881056
9.1999969e+09	0.885097 -0.885097
9.2399964e+09	0.889146 -0.889146
9.2799959e+09	0.893205 -0.893205
9.3199954e+09	0.897275 -0.897275
9.3599949e+09	0.901356 -0.901356
9.3999944e+09	0.905450 -0.905450
9.4399939e+09	0.909559 -0.909559
9.4799933e+09	0.913685 -0.913685
9.5199928e+09	0.917830 -0.917830
9.5599923e+09	0.921997 -0.921997
9.5999918e+09	0.926191 -0.926191
9.6399913e+09	0.930414 -0.930414
9.6799908e+09	0.934674 -0.934674
9.7199903e+09	0.938977 -0.938977
9.7599898e+09	0.943333 -0.943333
9.7999892e+09	0.947756 -0.947756
9.8399887e+09	0.952263 -0.952263
9.8799882e+09	0.956881 -0.956881
9.9199877e+09	0.961650 -0.961650
9.9599872e+09	0.966635 -0.966635
9.9999867e+09	0.971948 -0.971948
1.0039986e+10	0.977826 -0.977826
1.0079986e+10	0.984913 -0.984913
1.0119985e+10	0.002296
1.0159985e+10	0.014388
1.0199984e+10	0.019431
1.0239984e+10	0.022736

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.0279983e+10	0.025001
1.0319983e+10	0.026494
1.0359982e+10	0.027341
1.0399982e+10	0.027602
1.0439981e+10	0.027294
1.0479981e+10	0.026395
1.0519980e+10	0.024842
1.0559980e+10	0.022498
1.0599979e+10	0.019076
1.0639978e+10	0.013793
1.0679978e+10	0.996156 -0.996156
1.0719977e+10	0.984150 -0.984150
1.0759977e+10	0.977216 -0.977216
1.0799976e+10	0.971392 -0.971392
1.0839976e+10	0.966100 -0.966100
1.0879975e+10	0.961123 -0.961123
1.0919975e+10	0.956352 -0.956352
1.0959974e+10	0.951726 -0.951726
1.0999974e+10	0.947206 -0.947206
1.1039973e+10	0.942768 -0.942768
1.1079973e+10	0.938394 -0.938394
1.1119972e+10	0.934071 -0.934071
1.1159972e+10	0.929788 -0.929788
1.1199971e+10	0.925541 -0.925541
1.1239971e+10	0.921321 -0.921321
1.1279970e+10	0.917125 -0.917125
1.1319970e+10	0.912950 -0.912950
1.1359969e+10	0.908793 -0.908793
1.1399969e+10	0.904651 -0.904651
1.1439968e+10	0.900522 -0.900522
1.1479968e+10	0.896404 -0.896404
1.1519967e+10	0.892297 -0.892297
1.1559967e+10	0.888199 -0.888199
1.1599966e+10	0.884109 -0.884109



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1639966e+10	0.880026 -0.880026
1.1679965e+10	0.875949 -0.875949
1.1719965e+10	0.871878 -0.871878
1.1759964e+10	0.867812 -0.867812
1.1799964e+10	0.863751 -0.863751
1.1839963e+10	0.859694 -0.859694
1.1879963e+10	0.855640 -0.855640
1.1919962e+10	0.851590 -0.851590
1.1959962e+10	0.847543 -0.847543
1.1999961e+10	0.843499 -0.843499



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Yr (Gr+JBr) และ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสามารถแสดงได้ดังนี้

FREQUENCY	Gr	Br	R
9.00000e+09	2.27282e-02	-6.59171e-04	0.014757
9.04000e+09	2.25973e-02	9.34981e-04	0.020683
9.08000e+09	2.30275e-02	2.60097e-03	0.057748
9.12000e+09	2.40664e-02	4.19481e-03	0.095103
9.16000e+09	2.57542e-02	5.52829e-03	0.131327
9.20000e+09	2.80882e-02	6.33617e-03	0.165005
9.24000e+09	3.09402e-02	6.26413e-03	0.194796
9.28000e+09	3.39296e-02	4.93758e-03	0.219483
9.32000e+09	3.63432e-02	2.19037e-03	0.237978
9.35999e+09	3.73168e-02	-1.60000e-03	0.249303
9.39999e+09	3.63704e-02	-5.44298e-03	0.252543
9.43999e+09	3.38231e-02	-8.24395e-03	0.246790
9.47999e+09	3.05486e-02	-9.44000e-03	0.231105
9.51999e+09	2.73876e-02	-9.09515e-03	0.204513
9.55999e+09	2.48440e-02	-7.56988e-03	0.166068
9.59999e+09	2.31336e-02	-5.22126e-03	0.115013
9.63999e+09	2.23441e-02	-2.28732e-03	0.051074
9.67999e+09	2.25723e-02	1.11334e-03	0.025138
9.71999e+09	2.40329e-02	4.93798e-03	0.111716
9.75999e+09	2.71887e-02	9.13938e-03	0.205289
9.79999e+09	3.29614e-02	1.34560e-02	0.301266
9.83999e+09	4.30266e-02	1.67379e-02	0.394670
9.87999e+09	5.94084e-02	1.48529e-02	0.481153
9.91999e+09	7.84663e-02	-2.28704e-03	0.557790
9.95999e+09	7.84369e-02	-3.58884e-02	0.623304
9.99999e+09	5.38292e-02	-5.54810e-02	0.677786
1.00400e+10	3.15302e-02	-5.45308e-02	0.722194
1.00800e+10	1.87931e-02	-4.73733e-02	0.757875
1.01200e+10	1.19756e-02	-4.02320e-02	0.786236
1.01600e+10	8.17697e-03	-3.42754e-02	0.808553
1.02000e+10	5.93449e-03	-2.94324e-02	0.825909
1.02400e+10	4.53944e-03	-2.54490e-02	0.839168

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.02800e+10	3.63461e-03	-2.21024e-02	0.848994
1.03200e+10	3.03010e-03	-1.92257e-02	0.855876
1.03600e+10	2.61996e-03	-1.66980e-02	0.860151
1.04000e+10	2.34268e-03	-1.44307e-02	0.862024
1.04400e+10	2.16180e-03	-1.23580e-02	0.861577
1.04800e+10	2.05584e-03	-1.04286e-02	0.858778
1.05200e+10	2.01309e-03	-8.60170e-03	0.853472
1.05600e+10	2.02892e-03	-6.84284e-03	0.845376
1.06000e+10	2.10485e-03	-5.12171e-03	0.834053
1.06400e+10	2.24870e-03	-3.40982e-03	0.818883
1.06800e+10	2.47612e-03	-1.67948e-03	0.799035
1.07200e+10	2.81374e-03	9.73626e-05	0.773427
1.07600e+10	3.30483e-03	1.94843e-03	0.740706
1.08000e+10	4.01891e-03	3.89764e-03	0.699285
1.08400e+10	5.06723e-03	5.95382e-03	0.647453
1.08800e+10	6.62369e-03	8.07965e-03	0.583684
1.09200e+10	8.93874e-03	1.01167e-02	0.507132
1.09600e+10	1.22812e-02	1.16315e-02	0.418320
1.10000e+10	1.66233e-02	1.17421e-02	0.319726
1.10400e+10	2.09380e-02	9.42086e-03	0.215862
1.10800e+10	2.31452e-02	4.94768e-03	0.112562
1.11200e+10	2.22690e-02	5.76754e-04	0.015629
1.11600e+10	1.96348e-02	-1.87943e-03	0.070401
1.12000e+10	1.68803e-02	-2.43374e-03	0.142856
1.12400e+10	1.47247e-02	-1.81324e-03	0.200785
1.12800e+10	1.32747e-02	-6.00450e-04	0.244424
1.13200e+10	1.24491e-02	8.78959e-04	0.274645
1.13600e+10	1.21566e-02	2.45815e-03	0.292523
1.14000e+10	1.23423e-02	4.04198e-03	0.299115
1.14400e+10	1.29889e-02	5.55146e-03	0.295371
1.14800e+10	1.41029e-02	6.88612e-03	0.282148
1.15200e+10	1.56851e-02	7.89396e-03	0.260279
1.15600e+10	1.76743e-02	8.35614e-03	0.230673
1.16000e+10	1.98624e-02	8.02027e-03	0.194410

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการดำเนินงานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.16400e+10	2.18278e-02	6.73333e-03	0.152825
1.16800e+10	2.30228e-02	4.65218e-03	0.107509
1.17200e+10	2.30799e-02	2.32010e-03	0.060280
1.17600e+10	2.20877e-02	4.01140e-04	0.013052
1.18000e+10	2.05009e-02	-7.02663e-04	0.032303
1.18400e+10	1.88125e-02	-9.59075e-04	0.074116
1.18800e+10	1.73481e-02	-5.49238e-04	0.111024
1.19200e+10	1.62574e-02	3.04235e-04	0.142017
1.19600e+10	1.55848e-02	1.41619e-03	0.166431
1.20000e+10	1.53307e-02	2.64884e-03	0.183898



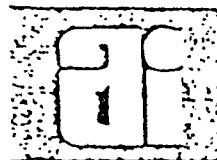
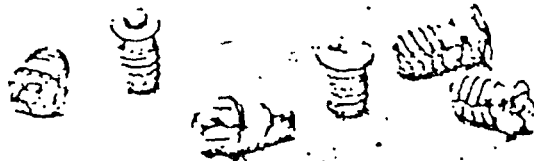
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนึ้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GUNN DIODES

DATA SHEET



FEATURES

- * Spot Frequency or Wide Band Operation
- * Choice of Package Styles
- * Range of Microwave Power Outputs
- * Specific Types For Low Cost Commercial Applications
- * High Reliability
- * Special Screening to Customer Requirements Available

GENERAL DESCRIPTION

Alpha Gunn diodes are produced from epitaxial gallium arsenide grown in Alpha's own in house epitaxy facility. This data sheet describes both the performance of low power low cost devices suitable for high volume commercial applications as well as high power diodes. Devices for the lowest power applications are produced in a non-flip configuration, that is with the active layer uppermost in the package and require the heat sink to be biased as the anode. A flip device construction is used for the higher power diodes in which the active layer is bonded close to the package heat sink for optimum thermal performance. Such devices require the heat sink to be biased as the cathode.

APPLICATIONS

MICROWAVE OSCILLATORS

- * Receiver Local Oscillators For Radar, Etc.
- * Parametric Amplifier Pumps
- * Transmitters
- * Motion Detectors (Intrusion Alarms, Package Counters, Etc.)
- * Fixed Frequency Sources
- * Electronically Tuneable Sources With Varactor and YIG devices
- * Wide Band Mechanically Tuneable Sources

THE DEVICE TYPES SHOWN REPRESENT THE STANDARD RANGE OF ALPHA INDUSTRIES GUNN DEVICES. MANY VARIATIONS ARE POSSIBLE TO MEET SPECIFIC REQUIREMENTS FOR DEVICE TYPES NOT LISTED IN THIS DATA SHEET. PLEASE CONSULT THE FACTORY FOR AVAILABILITY.

REFLECTION AMPLIFIERS

C. W. GUNN DEVICES FOR C-BAND (4-8 GHz)

Type	Specified Frequency in Range ¹ GHz	C.W. Output Power Min. ^{2,3} mW	Operating Current Typical mA	Operating Voltage Typical V	Heat Sink Polarity	Package Style ^{4,5}
DGB 8211	4-8	20	200	13	Cathode	023-001
DGB 8212	4-8	20	200	13	Cathode	158-001
DGB 8213	4-8	20	200	13	Cathode	188-001
DGB 8311	4-8	50	300	13	Cathode	023-001
DGB 8312	4-8	50	300	13	Cathode	158-001
DGB 8313	4-8	50	300	13	Cathode	188-001
DGB 8411	4-8	100	400	13	Cathode	023-001
DGB 8412	4-8	100	400	13	Cathode	158-001
DGB 8413	4-8	100	400	13	Cathode	188-001
DGB 8511	4-8	200	500	13	Cathode	023-001
DGB 8512	4-8	200	500	13	Cathode	158-001
DGB 8513	4-8	200	500	13	Cathode	188-001
DGB 8612	6-8	300	700	13	Cathode	023-001
DGB 8613	6-8	300	700	13	Cathode	158-001
DGB 9211	FULLBAND 5-8	20	300	13	Cathode	188-001
DGB 9212	FULLBAND 5-8	20	300	13	Cathode	023-001
DGB 9213	FULLBAND 5-8	20	300	13	Cathode	158-001
DGB 9214	FULLBAND 5-8	20	300	13	Cathode	188-001
DGB 9311	FULLBAND 5-8	50	400	13	Cathode	315-001
DGB 9312	FULLBAND 5-8	50	400	13	Cathode	023-001
DGB 9313	FULLBAND 5-8	50	400	13	Cathode	158-001
DGB 9314	FULLBAND 5-8	50	400	13	Cathode	188-001
DGB 9411	FULLBAND 5-8	100	550	13	Cathode	315-001
DGB 9412	FULLBAND 5-8	100	550	13	Cathode	023-001
DGB 9413	FULLBAND 5-8	100	550	13	Cathode	158-001
DGB 9414	FULLBAND 5-8	100	550	13	Cathode	188-001

C. W. GUNN DEVICES FOR X-BAND (8-12 GHz)

Type	Specified Frequency in Range ¹ GHz	C.W. Output Power Min. ^{2,3} mW	Operating Current Typical Ma	Operating Voltage Typical V	Heat Sink Polarity	Package Style ^{4,5}
DGB 8081	9.3-10.9	5	75	8	Anode	023-001
DGB 8181	9.3-10.9	10	110	8	Anode	023-001
DGB 8281	9.3-10.9	20	140	8	Anode	023-001
DGB 8121	8-9.3 and 10.9-12	10	115	8	Anode	023-001
DGB 8122	8-12	10	115	8	Anode	158-001
DGB 8123	8-12	10	115	8	Anode	188-001
DGB 8221	8-9.3 and 10.9-12	20	150	8	Anode	023-001
DGB 8222	8-12	20	150	8	Anode	158-001
DGB 8223	8-12	20	150	8	Anode	188-001
DGB 8321	8-12	50	300	10	Cathode	023-001
DGB 8322	8-12	50	300	10	Cathode	158-001
DGB 8323	8-12	50	300	10	Cathode	188-001
DGB 8421	8-12	100	400	10	Cathode	023-001
DGB 8422	8-12	100	400	10	Cathode	158-001
DGB 8423	8-12	100	400	10	Cathode	188-001
DGB 8521	8-12	200	600	10	Cathode	023-001
DGB 8522	8-12	200	600	10	Cathode	158-001
DGB 8523	8-12	200	600	10	Cathode	188-001
DGB 8622	8-12	300	800	10	Cathode	023-001
DGB 8623	8-12	300	800	10	Cathode	158-001
DGB 8722	8-12	400	1000	10	Cathode	188-001
DGB 8723	8-12	400	1000	10	Cathode	023-001
DGB 9221	FULLBAND 8-12	20	300	10	Cathode	158-001
DGB 9222	FULLBAND 8-12	20	300	10	Cathode	188-001
DGB 9223	FULLBAND 8-12	20	300	10	Cathode	023-001
DGB 9224	FULLBAND 8-12	20	300	10	Cathode	158-001
DGB 9321	FULLBAND 8-12	50	450	10	Cathode	188-001
DGB 9322	FULLBAND 8-12	50	450	10	Cathode	315-001
DGB 9323	FULLBAND 8-12	50	450	10	Cathode	023-001
DGB 9324	FULLBAND 8-12	50	450	10	Cathode	158-001
DGB 9421	FULLBAND 8-12	100	600	10	Cathode	188-001
DGB 9422	FULLBAND 8-12	100	600	10	Cathode	315-001
DGB 9423	FULLBAND 8-12	100	600	10	Cathode	023-001
DGB 9424	FULLBAND 8-12	100	600	10	Cathode	158-001

C. W. GUNN DEVICES FOR Ku-BAND (12-18 GHz)

Type	Specified Frequency in Range ¹ GHz	C. W. Output Power Min. 2.3 mW	Operating Current Typical Ma	Operating Voltage Typical V	Heat Sink Polarity	Package Style 4,5
DGB 8131	12-18	10	140	7	Anode	023-001
DGB 8132	12-16	10	140	7	Anode	158-001
DGB 8133	12-16	10	140	7	Anode	188-001
DGB 8134	12-18	10	140	7	Anode	315-001
DGB 8231	12-18	20	180	7	Anode	023-001
DGB 8232	12-16	20	180	7	Anode	158-001
DGB 8233	12-16	20	180	7	Anode	188-001
DGB 8234	12-18	20	180	7	Anode	315-001
DGB 8331	12-18	50	350	8	Cathode	023-001
DGB 8332	12-16	50	350	8	Cathode	158-001
DGB 8333	12-16	50	350	8	Cathode	188-001
DGB 8334	12-18	50	350	8	Cathode	315-001
DGB 8431	12-18	100	500	8	Cathode	023-001
DGB 8432	12-16	100	500	8	Cathode	158-001
DGB 8433	12-16	100	500	8	Cathode	188-001
DGB 8434	12-18	100	500	8	Cathode	315-001
DGB 8531	12-18	200	700	8	Cathode	023-001
DGB 8532	12-16	200	700	8	Cathode	158-001
DGB 8533	12-16	200	700	8	Cathode	188-001
DGB 8534	12-18	200	700	8	Cathode	315-001
DGB 8632	12-16	300	1000	8	Cathode	158-001
DGB 8633	12-16	300	1000	8	Cathode	188-001
DGB 8634	12-18	300	1000	8	Cathode	315-001
DGB 9234	FULLBAND 12-18	20	360	8	Cathode	315-001
DGB 9334	FULLBAND 12-18	50	520	8	Cathode	315-001
DGB 9434	FULLBAND 12-18	100	720	8	Cathode	315-001

C. W. GUNN DEVICES FOR K-BAND (18-26.5 GHz)

Type	Specified Frequency in Range ¹ GHz	C. W. Output Power Min. 2.3 mW	Operating Current Typical Ma	Operating Voltage Typical V	Heat Sink Polarity	Package Style 4,5
DGB 8091	23.5-24.5	5	100	5	Anode	023-001
DGB 8094	23.5-24.5	5	100	5	Anode	315-001
DGB 8191	23.5-24.5	10	180	5	Anode	023-001
DGB 8194	23.5-24.5	10	180	5	Anode	315-001
DGB 8291	23.5-24.5	20	250	5	Anode	023-001
DGB 8294	23.5-24.5	20	250	5	Anode	315-001
DGB 8141	18-23.5 and 24.5-26.5	10	200	5	Anode	023-001
DGB 8144	18-23.5 and 24.5-26.5	10	200	5	Anode	315-001
DGB 8244	18-23.5 and 24.5-26.5	20	270	5	Anode	023-001
DGB 8344	18-26.5	50	400	6	Cathode	315-001
DGB 8444	18-26.5	100	700	6	Cathode	315-001
DGB 9244	FULLBAND 18-26.5	20	420	6	Cathode	296-001
DGB 9246	FULLBAND 18-26.5	20	420	6	Cathode	315-001
DGB 9344	FULLBAND 18-26.5	50	700	6	Cathode	315-001
DGB 9346	FULLBAND 18-26.5	50	700	6	Cathode	296-001

C. W. GUNN DEVICES FOR Ka-BAND (26.5-40 GHz)

Type	Specified Frequency in Range ¹ GHz	C. W. Output Power Min. 2.3 mW	Operating Current Typical Ma	Operating Voltage Typical V	Heat Sink Polarity	Package Style
DGB 8154	26.5-40	10	220	4	Anode	315-001
DGB 8156	26.5-40	10	220	4	Anode	295-001
DGB 8254	26.5-40	20	300	5	Cathode	315-001
DGB 8256	26.5-40	20	300	5	Cathode	295-001
DGB 8354	26.5-35	50	500	5	Cathode	315-001
DGB 8356	26.5-35	50	500	5	Cathode	295-001
DGB 8454	26.5-35	100	800	5	Cathode	315-001
DGB 8456	26.5-35	100	800	5	Cathode	295-001

NOTES

(1) The required operating frequency (or in the case of wide band types the frequency range) must be specified when ordering. The specification of any unnecessarily wide frequency range will result in unnecessary expenditure.

(2) The power output is measured at a single frequency (except for wide band units) in a critically coupled Alpha test cavity at 25°C. Alpha may agree to undertake special testing in a customer cavity if required.

(3) The standard catalogue range of Alpha Gunn devices are tested under C. W. conditions. For certain pulsed applications alternative device types are available. Consult the factory.

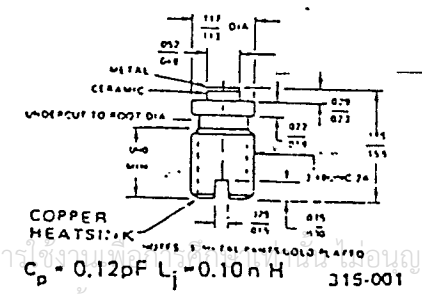
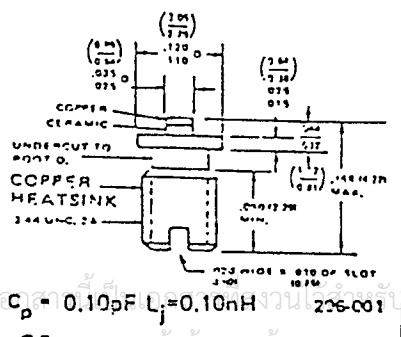
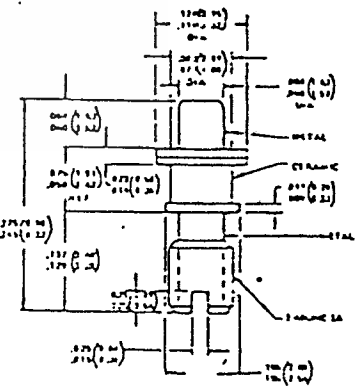
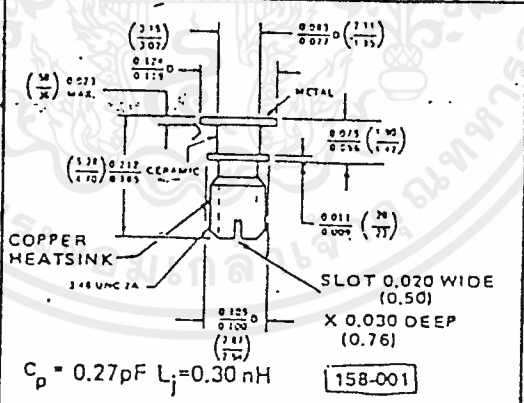
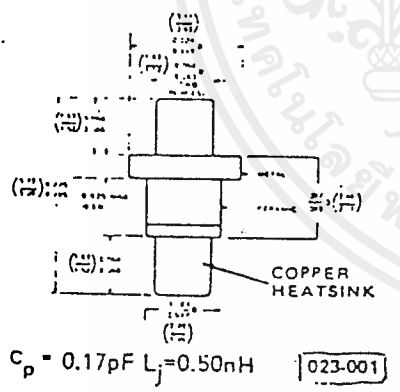
(4) Alternative package styles are available and should be requested as specials at the time of ordering. The Alpha 305 package is available for units listed with the 315 package styles. To order 305 packaged diodes, merely replace the last numeral digit (a four) of the 315 type code with the numeral five. For example, the DGB 9424 in the 315 package becomes a DGB 9425 in the 305 package. The 315 package will generally be preferred however since although it has similar electrical characteristics, it is more robust and resistant to distortion.

* * (5) For applications involving magnetic tuning, the customer should bear in mind that package types 023-001, 158-001 and 188-001 have Kovar in their construction and are therefore not suitable for these requirements.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

- Operating Temperature..... -40° to +70°C for standard types
- Storage Temperature..... -55°C to +85°C
- Operating Voltage..... Each diode is individually rated by Alpha with respect to operating voltage. Application of a bias voltage in excess of this value may lead to a degradation in performance.

OUTLINE DRAWINGS Dimensions in inches (millimeters in parentheses)



APPLICATION NOTES

Gunn devices act as converters of DC to microwave energy using the negative resistance characteristic of bulk gallium arsenide. The cavities in which these devices are operated often appear deceptively simple. It should be the aim of the cavity designer not merely to design a cavity which enables the Gunn device to operate to the designer's specifications, but the designer should also aim to produce a cavity which will operate just as successfully with other devices from the same manufacturing batch and indeed other batches of devices. Generally, most oscillators are best designed with some sort of adjustable matching element to facilitate this. Successful Gunn oscillator designs require the understanding of device operation and microwave circuit theory, together with experience and a willingness to experiment. For example, the negative resistance of a Gunn device is not restricted to a single frequency, but exists over a band of frequencies when a suitable bias voltage is applied. These devices are therefore capable of producing oscillations in the bias circuit in the VHF range which are normally suppressed by a suitable choice of bias line impedance. Normally a relatively low impedance quasi constant voltage source is used together with a capacitor (typically 0.047 μF) connected directly across the terminal of the microwave cavity from the bias line to cavity ground. The design of the microwave circuit can significantly affect the susceptability of a unit to bias circuit oscillations and also significantly influence the diode turn on voltage. (The turn on voltage $V_{t.o.}$ is the voltage at which the device produces single frequency microwave power free from bias circuit oscillations and at a frequency which can be pushed without discontinuity to the operating frequency at the operating voltage (V_{op}), merely by increasing the bias from $V_{t.o.}$ to V_{op}).

As shown in Figure 2, at the threshold voltage the current drain is at a maximum. Typically, the threshold current I_{th} may be expected to be 30% more than the operating current I_{op} . In addition, both I_{th} and I_{op} increase as the temperature is decreased and therefore power supplies should be designed with this in mind. It is also desirable that the Gunn oscillator power supply should have a low ripple content, particularly if the application requires the oscillator to have good noise performance. Power supply ripple will, in general, degrade the inherent A.M and F.M. noise performance of the Gunn oscillator.

Care must be taken to ensure that the packaged diodes are provided with an adequate heat sink so that the temperature rise of the package above the heat sink is limited to only a few $^{\circ}\text{C}$.

The equivalent circuit of the packaged diode is shown in Figure 1. The Gunn device chip may be represented as a negative resistance in parallel with a capacitance and a small positive resistance in series with these. Additionally, when incorporated into a package structure of whatever type, a series inductance and a parallel capacitive reactance are introduced. In general, the magnitude of these parasitic reactances is reduced with the choice of a smaller package. Hence, although the larger package types are offered in the lower frequency bands, higher frequency diodes are only available in the smaller lower parasitic reactance packages.

Typical curves showing the general characteristics of Gunn devices operated in various cavities and at various frequencies are shown in Figures 2 to 8.

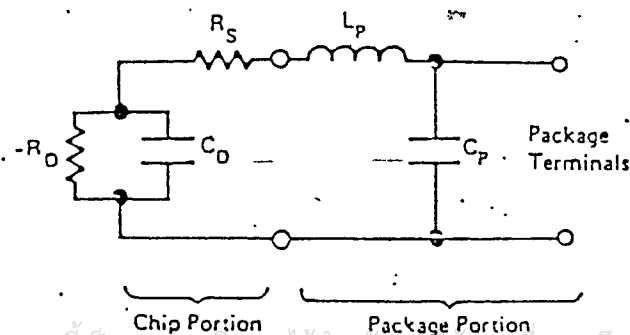


Figure 1. Equivalent Circuit of Packaged Gunn Diode

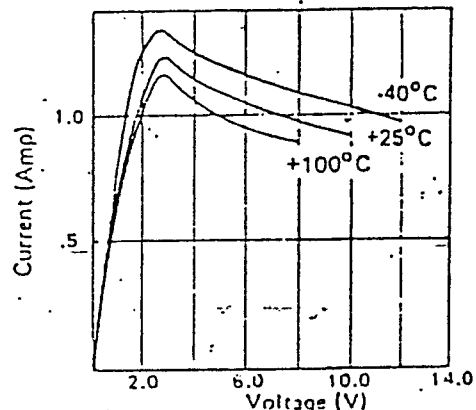


Figure 2. DC I-V Characteristic at Various Temperatures (Ambient)

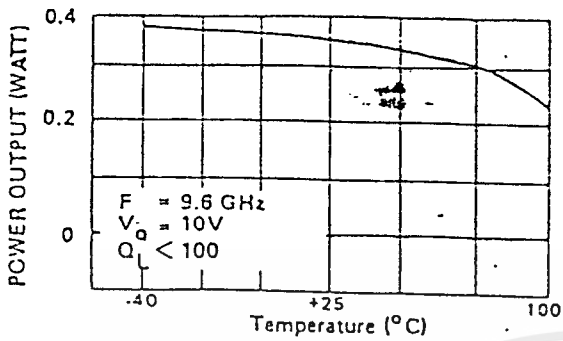


Figure 3. Power Output vs Temperature (Ambient) at a Fixed Bias

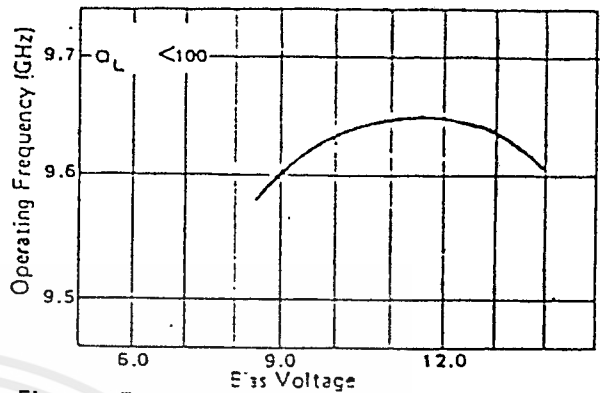


Figure 4. Frequency Pushing vs Bias Voltage

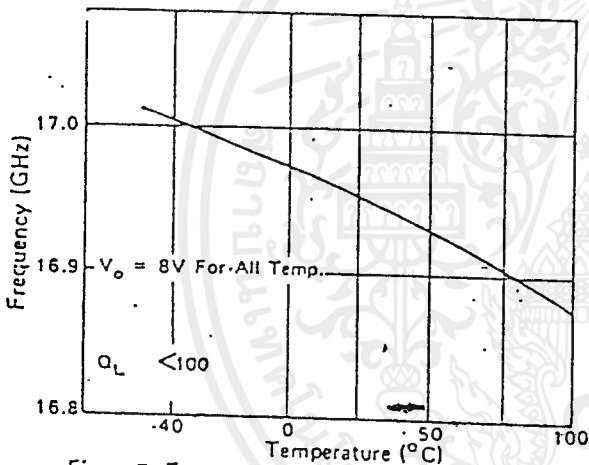


Figure 5. Frequency Drift vs Temperature (Ambient) in a Coaxial Cavity

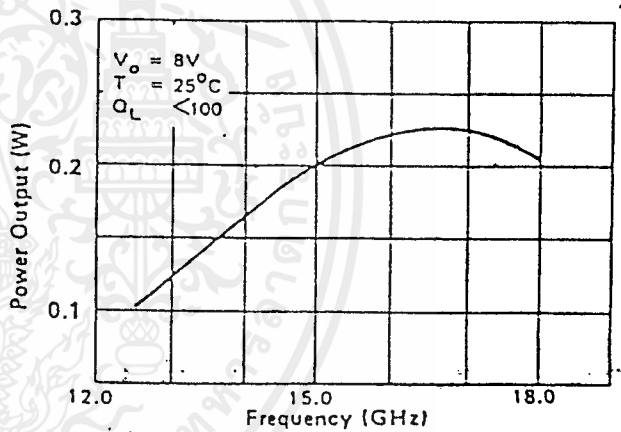


Figure 6. Power Output vs Frequency

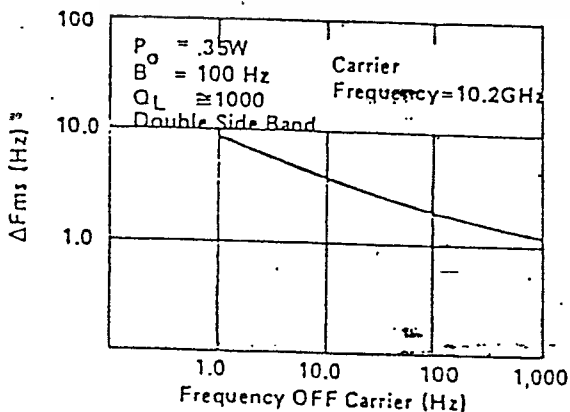


Figure 7. FM Noise vs. Frequency

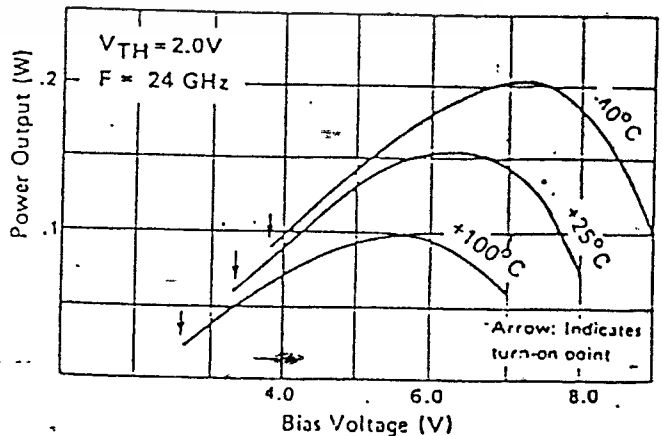


Figure 8. Output Power vs Bias Voltage at Different Temperatures (Ambient)

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลาย ๆ ท่านที่ได้ช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ แก่ผู้จัดทำ ตั้งแต่เริ่มทำปริญญาบัตรฉบับนี้ เป็นต้นมา

ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ต่ออาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. จเร สุรวัดณ์ปัญญา แห่งภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำปรึกษา และ คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณ คุณกมลศักดิ์ เมฆสุนทร ผู้ช่วยให้คำแนะนำ และ ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ในการจัดสร้างวงจรจึงทำให้การจัดทำชิ้นงานนี้สำเร็จล่วงไปได้โดยดี และ ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการขอยืมใช้เครื่องมือเพื่อใช้ในการจัดสร้าง วงจรต้นแบบ

ขอขอบคุณบุคคลอีกหลาย ๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการหาข้อมูล และ คำแนะนำในด้านการใช้เครื่องมือต่าง ๆ แก่ผู้จัดทำเป็นอย่างดี

ผู้จัดทำ

1 มีนาคม 2541

หนังสืออ้างอิง

- [1]. R.E. Collin, *Foundation for Microwave Engineering*, McGraw-Hill, USA, 1966.
- [2]. Charray Surawatpunya and Khanittha Sactang, "Microstrip Waveguide Gunn Oscillator," *International Journal of Electronics*, vol. 67, no.4, pp. 543-549, 1989.
- [3]. Terry Edwards, *Foundations for Microstrip Circuit Design*, John Wiley & Sons, New York, 1973.
- [4]. K.C. Gupta, Ramesh Garg and Rakesh Chadha, *Computer Aided Design of Microwave Circuits*, Arctech-House Inc., USA, 1981.
- [5]. รศ.ดร.จรูญ สุวรรณปัญญา, "DBR กันน้ออสซิลเลเตอร์สำหรับวงจรรวมไมโครเวฟ," *วิศวกรรมลาดกระบัง*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, กุมภาพันธ์ 2528.
- [6]. ดร.ดวงแก้ว สวามิภักดิ์, *การโปรแกรมภาษา C*, บ.ซีเอ็ดดูเลชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ, 2532.
- [7]. E.H. Fooks and R.A. Zakarevicius, *Microwave Engineering using Microstrip Circuits*, Prentice Hall, Australia, 1990.
- [8]. Protap Pramanick and Prakash Bhartia, "An Accurate Description of Dispersion in Microstrip," *Microwave journal*, pp. 89-96, Dec. 1983.
- [9]. W. Alan Davis, *Microwave Semiconductor Circuit Design*, Van Nostrand Reinhold Company Inc., USA, 1984.