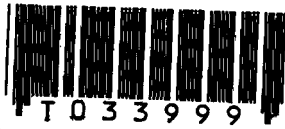


คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูง
COMPUTER AIDED DESIGN OF HIGH FREQUENCY



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2541

เลขที่.....

เลขทะเบียน..... 33999

วัน, เดือน, ปี 2.7.0.ย. 2542

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยฯ ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูง
COMPUTER AIDED DESIGN OF HIGH FREQUENCY
OCCILLATOR

ชื่อนักศึกษา นาย จำเป็น แซ่ไค้ว
นาย โชคดี เอี่ยมเถือ

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ รัช.ประกิจ ดังศิลาพันธ์
อาจารย์ มนต์ชัย แซ่มซ้อย

ภาควิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2541

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

()

..... กรรมการ

()

..... กรรมการ

()

..... กรรมการ

()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูง

โดย นาย จำเป็น แซ่โค้ง รหัส 40012044
นาย โชคดี เอี่ยมเสื่อ รหัส 40012045

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์รศ.ประกิจ ตั้งติสานนท์
อาจารย์ มนต์ชัย แซ่มซ้อย
ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

โครงการนี้คือโครงการคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูงแบบความต้านทานเชิงลบ (negative resistance) โดยอาศัยหลักการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์แบบความต้านทานเชิงลบด้วยสเกเตอร์ริงพารามิเตอร์ (scattering parameter) และความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของโครงข่าย 2 พอร์ต, การแมทซ์อิมพีแดนซ์, สเกเตอร์ริงพารามิเตอร์ และสายส่งสัญญาณแบบไมโครสตริปเป็นพื้นฐานในการสร้างโปรแกรม โดยโปรแกรมนี้ถูกเขียนขึ้นด้วยโปรแกรม Delphi โดยลักษณะการใช้งานโปรแกรมทำได้โดยป้อนค่าสเกเตอร์ริงพารามิเตอร์ (scattering parameter) ให้กับโปรแกรมแล้วดำเนินการออกแบบตามขั้นตอนของโปรแกรมก็จะได้โครงสร้างต่างๆ ของวงจรออสซิลเลเตอร์ตามต้องการ ซึ่งช่วยให้สามารถออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนั้นในโครงการนี้ยังได้เขียนขึ้นเพื่อทดสอบคุณสมบัติของโปรแกรมด้วยว่าสามารถออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ใช้งานจริงได้หรือไม่

COMPUTER AIDED DESIGN OF HIGH FREQUENCY OSCILLATOR

BY Mr. Jampen SEA-KHO
Mr. Chokdee EAMSUA

ADVISOR Assoc. Prof. Prakrit TANGTISANON
Ajarn Monchai CHAMCHOY

YEAR 1998

ABSTRACT

This project represent is the computer aided design of high frequency oscillator which bases on the 2 port negative resistance oscillator , 2 port parameter impedance matching , scattering parameter and microstrip transmission line. Delphi program is used in this project. When we input scattering parameter in program it calculate parameter which used for oscillator fabrication. So we get less time when we used program to calculate. Besides in this project get artwork fabrication for test program property it can be design oscillator for used in practical

กิตติกรรมประกาศ

การทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ที่สามารถประสบความสำเร็จลุล่วงในการทำงานไปได้ ก็เนื่องจากคำแนะนำของอาจารย์ มนต์ชัย แซ่มซ้อย, อาจารย์ สถาพร พรหมวงศ์, อาจารย์ รศ. ประกิจ ตั้งศิลาพันธ์ และความร่วมมือประสานงานจากเพื่อนๆ ทุกคนในกลุ่ม รวมทั้งได้รับการสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ จากภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และญาติพี่น้องที่ให้ความอุปถัมภ์ และปรึกษาด้วยดีมาตลอด จนจบการศึกษา

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
บทนำ	1
บทที่ 1 พารามิเตอร์ และเสถียรภาพของทรานซิสเตอร์	3
1.1 พารามิเตอร์ 2 คู่สายของทรานซิสเตอร์	
1.2 แอคทีวิตี และ แพสซีวิตี	8
1.3 คุณสมบัติของวงจรวงจรขยาย	10
1.4 สมบัติที่ดี และ อินสแตบิลิตี	11
1.5 เงื่อนไขสำหรับการมีเสถียรภาพ	12
บทที่ 2 สมิธชาร์ตและโครงข่ายการแมทซิง	15
2.1 สมิธชาร์ต	
2.2 อิมิตแดนซ์ชาร์ต	25
2.3 ไมโครสตริป	30
2.4 การแมทซิงแบบสายเคเบิล	37
บทที่ 3 สเตจเตอร์ริงพารามิเตอร์	41
3.1 วงจร 1 คู่สาย	
3.2 วงจรหลายคู่สาย	44
3.3 นอร์มอลไลซ์สเตจเตอร์ริงพารามิเตอร์	48
3.4 การคำนวณสเตจเตอร์ริงพารามิเตอร์	53
3.5 ความหมายทางกายภาพ	58
3.6 การวัดสเตจเตอร์ริงพารามิเตอร์	61
3.7 แอคทีวิตีและพาสซีวิตี	64
3.8 อินดีฟินิตสเตจเตอร์ริงแมทริกซ์	66

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 การออกแบบโดยใช้สเกเตอร์ริงพารามิเตอร์	72
4.1 การคำนวณหาสเกเตอร์ริงพารามิเตอร์	
4.2 วงจรขยายแบบยูนิเลเตอร์รอล	74
4.3 วงจรขยายแบบนอนยูนิเลเตอร์รอล	82
บทที่ 5 การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ด้วยทรานซิสเตอร์ย่าน ไมโครเวฟ	98
5.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่งานเชิงลบแบบ 1 คู่สาย	
5.2 วงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่งานเชิงลบแบบ 2 คู่สาย	104
5.3 ออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ใช้การวัดสัญญาณขนาดใหญ่	106
5.4 รูปแบบของวงจรออสซิลเลเตอร์	111
บทที่ 6 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์	115
6.1 การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ด้วยโปรแกรม	
6.2 เมนูย่อยที่ช่วยในการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์	119
บทที่ 7 การสร้างชิ้นงานตัวอย่าง และการทดสอบวิเคราะห์ผลวงจรออสซิลเลเตอร์	121
7.1 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงาน	
7.2 การทดสอบผลการออสซิลเลท	124
7.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ	126
บทที่ 8 บทสรุป	127
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก	

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 รูปแบบพื้นฐานของ ทรานซิสเตอร์	3
(a) คอมมอนเบส	
(b) คอมมอนอิมิตเตอร์	
(c) คอมมอนคอลเลคเตอร์	
รูปที่ 1.2 วงจร 2 คู่สายของทรานซิสเตอร์	4
รูปที่ 1.3 เส้นแยกที่พทรานซิสเตอร์กับ การต่อเป็นวงจร 2 คู่สาย	11
รูปที่ 2.1 แสดงการสร้าง สมิทชาร์ต	17
(a) วงกลม r	
(b) วงกลม x	
รูปที่ 2.2 แสดง วิธีหิโรคลบนสมิทชาร์ต ที่อยู่ตรงกันข้ามที่มีรัศมีเท่ากัน	19
รูปที่ 2.3 แสดงวงจรแมทซ์แบบ Ell-section	21
รูปที่ 2.4 (a-d) แสดงการสร้าง สมิทชาร์ตสำหรับการแมทซ์ ระหว่างสายส่งกับ โหลด	23
รูปที่ 2.5 (a) วงจรแมทซ์แบบ Tapped-capacitor	24
(b) วงจรแมทซ์แบบ p-section	
รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างวงจรที่ใช้ วงจรแมทซ์แบบ Tapped-capacitor	25
รูปที่ 2.7 แสดงอิมิตแดนซ์ชาร์ต	26
รูปที่ 2.8 (a-d) อิมิตแดนซ์ชาร์ตอย่างง่าย	27
รูปที่ 2.9 (a-d) แสดงวงจร และการรวม อิมิตแดนซ์ชาร์ตสำหรับ โหลดเชิงซ้อน	29
รูปที่ 2.10 แสดงวิวัฒนาการของ ไมโครดริป จากสายส่งแบบสองสาย	30
รูปที่ 2.11 การแปลงและการหาค่าคงที่ประสิทธิภาพไดอิเล็กทริก	33
รูปที่ 2.12 คาแรคเตอร์ิสติกอิมพิแดนซ์ ค่าคงที่ประสิทธิภาพไดอิเล็กทริกของไมโครดริป	35
รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างแผ่นตัวนำ geometry	36
รูปที่ 3.1 แสดงวงจร 1 คู่สาย	42
รูปที่ 3.2 วงจรแสดงกระแส และแรงดันตกกระทบ เมื่อแหล่งจ่ายแมทซ์กับ โหลด	
รูปที่ 3.3 แสดง วงจรหลายคู่สายกับ แหล่งจ่ายแรงดัน	45
รูปที่ 3.4 แสดงอิมิตแดนซ์วงจร 2 คู่สายโดยความต้านทานเปรียบเทียบ	53

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.5 (a) แสดงวงจร 2 คู่สายที่ใช้ ความต้านทานเปรียบเทียบกับ R_{o1} และ R_{o2} กับ เครื่องกำเนิด E1	58
(b) แสดงวงจร 2 คู่สาย ที่ใช้ ความต้านทานเปรียบเทียบกับ R_{o1} และ R_{o2} กับ เครื่องกำเนิด E2	
รูปที่ 3.6 (a) แสดง ทรานซิสเตอร์ ที่พิจารณาเป็นอุปกรณ์ 2 คู่สาย	64
(b) แสดง ทรานซิสเตอร์ ที่พิจารณาเป็นอุปกรณ์ 3 คู่สาย	
รูปที่ 3.7 (a-b) แสดงวงจรที่ใช้รวมแอมพลิจูดและหลักใน อินดีฟินิตสเกตเตอร์ริงแมทริกซ์เท่ากับ 1	67
รูปที่ 3.8 แสดงสเกตเตอร์ริงทราเนสเตอร์พารามิเตอร์ ต่อ แคสเคด	70
รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งของศูนย์กลางกลมคอนสแตนต์พาร์เวอร์เกน	79
รูปที่ 4.2 แสดงบริเวณเสถียร และไม่เสถียร ที่เป็นไปได้บนสมิทชาร์ต เมื่อ $ S_{11} < 1$	87
รูปที่ 5.1 แสดงแผนผังทางไฟฟ้าของวงจรออสซิลเลเตอร์ความต้านทานเชิงลบแบบ 1 คู่สาย	98
รูปที่ 5.2 (a) อุปกรณ์ความต้านทานเชิงลบ	100
(b) การปรับ แอมพลิจูดของ $G(V)$	
รูปที่ 5.3 แบบจำลองออสซิลเลเตอร์แบบ 2 คู่สาย	104
รูปที่ 5.4 (a) การสเกลระนาบ Γ_T' ด้วย α	107
(b) ตัวอย่างแมปปิงจากระนาบ Γ_T' ถึง Γ_{IN} ตาม(31)	
รูปที่ 5.5 ย่านที่ดีที่สุดสำหรับ $\Gamma_{IN,max}$	108
รูปที่ 5.6 วงจรวัดสัญญาณขนานใหญ่	109
รูปที่ 5.7 แสดงสามชนิดของรูปแบบเบสร่วม (common-base)	111
(a) Colpitts	
(b) Hartley;	
(c) Clapp	
รูปที่ 5.8 รูปแบบคอมมอนเบส (common-base)	112
รูปที่ 5.9 (a) รูปแบบคอมมอนเกต (Common-gate)	
(c) รูปแบบคอมมอนซอร์ส (Common-source)	
รูปที่ 5.10 Reverse-channel GaAs FET	113.
รูปที่ 5.11 YIG ออสซิลเลเตอร์	

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.12 วงจรสมมูลวงจรเทียบเท่า ของ YIG ออสซิลเลเตอร์	114
รูปที่ 6.1 แสดงเมนู S parameter	115
รูปที่ 6.2 แสดงเมนู Display	116
รูปที่ 6.3 แสดงเมนู Substate properties	
รูปที่ 6.4 แสดง stability circles	117
รูปที่ 6.5 เมนูแสดง Γ_{in} และ Z_{in}	
รูปที่ 6.6 แสดงเมนู Immittance matching	118
รูปที่ 6.7 แสดงเมนู Terminating port	
รูปที่ 6.8 แสดงเมนู Oscillator circuit	119
รูปที่ 6.9 แสดงเมนู Design	120
รูปที่ 6.10 แสดงเมนู File	
รูปที่ 7.1 โครงสร้างของวงจรออสซิลเลเตอร์จาก โปรแกรมช่วยออกแบบ	121
รูปที่ 7.2 การ Lay-out ชิ้นงานด้วยโปรแกรม L-Edit	122
รูปที่ 7.3 แผ่นฟิล์มอาร์ทเวิร์ค แบบ Negative	
รูปที่ 7.4 แสดงแผ่น Dry Film ที่ติดลงบนแผ่น PCB	123
รูปที่ 7.5 แสดงลายบนแผ่น PCB ที่ทำการ Remove Dry Film แล้ว	124
รูปที่ 7.6 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ปรับปรุงแก้ไขใหม่	
รูปที่ 7.7 แสดงสเปคตรัมของวงจรออสซิลเลเตอร์	125
รูปที่ 7.8 กราฟเอาร์ทพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ต่างๆ	126

บทนำ

วงจรรออสซิลเลเตอร์เป็นอุปกรณ์แอคทีฟ (active device) ที่มีความสำคัญมากในระบบสื่อสารข้อมูลทุกชนิด เนื่องจากวงจรการทำงานในระบบสื่อสารจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณรูปไซน์ หรือออสซิลเลเตอร์ทำงานในส่วนต่างๆของวงจร เช่น อุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ carrier ในการมอดูเลชัน (modulation) และดีมอดูเลชัน (demodulation) โดยทั่วไปแล้วออสซิลเลเตอร์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์โซลิดสเตต (solid state device) จะมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือแบบป้อนกลับ (feedback) และแบบความต้านทานเชิงลบ (negative resistance) ซึ่งในโครงการนี้จะกล่าวถึงเฉพาะแบบเฟตออสซิลเลเตอร์ความต้านทานเชิงลบซึ่งมีความเหมาะสมมากกว่าสำหรับการพัฒนาและนำไปใช้ร่วมกับเทคโนโลยีวงจรรวมไมโครเวฟ (MIC)

สำหรับในโครงการนี้จะนำเสนอ หลักการออกแบบพื้นฐานของวงจรรออสซิลเลเตอร์แบบความต้านทานเชิงลบ (negative resistance) และ โปรแกรมช่วยออกแบบวงจรควาไซออปติคอลลเฟตออสซิลเลเตอร์ซึ่งวงจรมีจะใช้เป็นส่วนประกอบของวงจรรอแอคทีฟ ในวงจรควาไซออปติคอลล (quasi - optical circuit) ที่ใช้ในระบบสื่อสารไมโครเวฟ (microwave) และมิลลิเมตรเวฟ (millimeter wave) ซึ่งในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาและได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก

ในโครงการนี้ได้แสดงตัวอย่างการใช้โปรแกรมช่วยออกแบบวงจรรออสซิลเลเตอร์ออกแบบวงจรควาไซออปติคอลลเฟตออสซิลเลเตอร์แบบความต้านทานเชิงลบ เป็นออสซิลเลเตอร์แบบ 2 พอร์ต เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดแบบแอคทีฟ (active source) ในการสร้างสายอากาศแบบแอคทีฟ (active integrated antenna) โดยในการออกแบบได้เลือกใช้เฟตเตอร์ MGF 4310D (GaAs FET) ของบริษัท Mitsubishi ซึ่งมี S พารามิเตอร์ที่ความถี่ 10 GHz ดังนี้ $S_{11} = 0.649 \angle -1653.3^\circ$, $S_{12} = 0.089 \angle -9.8^\circ$, $S_{21} = 3.129 \angle 30.8^\circ$, $S_{22} = 0.436 \angle -128.1^\circ$

จากโครงการนี้ก็จะสามารถช่วยให้การออกแบบวงจรรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูงส่งได้อย่างสะดวกรวดเร็วขึ้นในระดับหนึ่งซึ่งก็อาจจะมีข้อบกพร่องอยู่ในส่วนต่างๆอีกซึ่งสามารถที่จะทำการพัฒนาต่อไปได้อีก

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาหลักการพื้นฐานของการออกแบบความต้านทานเชิงลบ (negative resistance oscillator)
2. เพื่อสามารถออกแบบวงจรรออสซิลเลเตอร์แบบความต้านทานเชิงลบ (negative resistance oscillator)

3. เพื่อสามารถนำหลักการออกแบบมาพัฒนาเป็นโปรแกรมช่วยออกแบบเพื่อให้การออกแบบทำได้สะดวกยิ่งขึ้น
4. เพื่อศึกษากรรมวิธีการสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์บนวัสดุฐานรองแบบเพฟลอน

ขอบเขตของโครงการ

1. สร้าง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์แบบความต้านทานเชิงลบ (negative Resistance oscillator) ให้สามารถช่วยในการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ในเบื้องต้นทำได้ง่ายขึ้น
2. ใช้โปรแกรมช่วยออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ออกแบบและสร้างชิ้นงานตัวอย่างของวงจรออสซิลเลเตอร์บนวัสดุฐานรองเพฟลอน
3. ทำการวัดและทดสอบคุณสมบัติของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่สร้าง

ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ได้ทราบถึงหลักการพื้นฐานที่ใช้ออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์แบบความต้านทานเชิงลบ (negative resistance oscillator)
2. สามารถออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ให้ทำงานที่ความถี่ที่ต้องการได้
3. ทำให้สามารถออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ได้สะดวกยิ่งขึ้น โดยใช้โปรแกรมช่วยออกแบบ
4. ได้รู้จักกรรมวิธีการสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์บนวัสดุฐานรองเพฟลอน

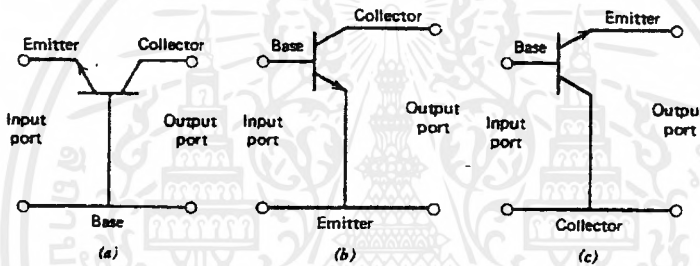
บทที่ 1

พารามิเตอร์ และเสถียรภาพของทรานซิสเตอร์

(TRANSISTOR PARAMETERS AND STABILITY)

ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มี 3 ขาใช้ขาหนึ่งเป็นขาคอมมอนเทียบกับขาอินพุตและเอาต์พุตของวงจร ซึ่งต่อในรูปแบบที่รู้จักกัน คือคอมมอนเบส(CB), คอมมอนอิมิตเตอร์ (CE) และคอมมอนคอลเลกเตอร์ (CC) โดยขาคอมมอนมักจะต่อเปรียบเทียบกับกราวด์

ขาคอมมอนสามารถจะจับคู่กับขาหนึ่งขาใดก็ได้โดยแต่ละคู่เรียกว่า พอร์ต (port) และ 2 คู่ที่จับจะเป็นไปตามรูปแบบของ CB, CE และ CC ซึ่งมีลักษณะที่เรียกว่า วงจร 2 คู่สาย (two-port network) โดยขาคอลเลกเตอร์จะไม่ใช้เป็นอินพุตในวงจรขยาย (amplifier) ดังวงจรในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 รูปแบบพื้นฐานของ ทรานซิสเตอร์: (a) คอมมอนเบส; (b)คอมมอนอิมิตเตอร์; (c) คอมมอนคอลเลกเตอร์

1.1 พารามิเตอร์ 2 คู่สายของทรานซิสเตอร์ (TWO – PORT TRANSISTOR PARAMETERS)

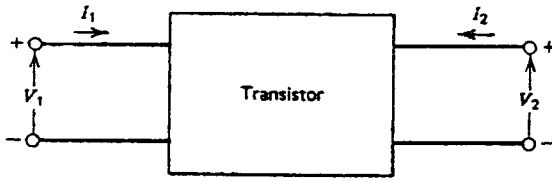
เซตของพารามิเตอร์แสดงรวมอยู่ในตารางที่ 1.1 โดย Φ_{i1} และ Φ_{i2} แทนสองปริมาณเป็นอิสระและ Φ_{d1} และ Φ_{d2} แทนสองปริมาณที่ไม่อิสระและ k_i, k_r, k_f และ k_o แทนพารามิเตอร์ (i, r, f และ o หมายถึง input, reverse, forward, และ output ตามลำดับ)

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระและพารามิเตอร์สามารถแสดงในรูปแมทริกซ์ matrix)

$$\begin{bmatrix} \Phi_{d1} \\ \Phi_{d2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_i & k_r \\ k_f & k_o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Phi_{i1} \\ \Phi_{i2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

หรือ

$$[\Phi_d] = [k][\Phi_i] \quad (2)$$



รูปที่ 1.2 วงจร 2 คู่สายของทรานซิสเตอร์

เมื่อ $[\Phi_d]$ และ $[\Phi_r]$ เป็นแมทริกซ์แถว และ $[k]$ เป็นแมทริกซ์จัตุรัสของ พารามิเตอร์เพียงสามของพารามิเตอร์หก ในตาราง 1.1 ที่เหมาะสมจะใช้แสดงลักษณะวงจร 2 คู่สายของทรานซิสเตอร์ นั่นคือ z, y และ h ส่วน สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ไม่ได้ให้ไว้ในตาราง 1.1 เพราะมันสัมพันธ์กับแรงดันและกระแสโดยตรงโดยเฉพาะใช้ที่ความถี่มากกว่า 100 MHz สำหรับสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์จะกล่าวในบทต่อไป

1.1.1 อิมพีแดนซ์เปิดวงจร (open-circuit impedance parameter) $[z]$ ถ้าให้กระแสเป็นตัวแปรอิสระและ แรงดันเป็นตัวแปรตามจะได้เป็น

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_i & Z_r \\ Z_f & Z_o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

หรือ

$$\begin{aligned} V_1 &= Z_i I_1 + Z_r I_2 \\ V_2 &= Z_f I_1 + Z_o I_2 \end{aligned} \quad (4)$$

ตารางที่ 1.1 รวมกลุ่มของพารามิเตอร์ต่างๆ

Φ_{i1}	Φ_{i2}	Φ_{o1}	Φ_{o2}	k_i	k_r	k_f	k_o
I_1	I_2	V_1	V_2	z_i	z_r	z_f	z_o
V_1	V_2	I_1	I_2	y_i	y_r	y_f	y_o
I_1	V_2	V_1	I_2	h_i	h_r	h_f	h_o
V_1	I_2	I_1	V_2	g_i	g_r	g_f	g_o
V_2	$-I_2$	V_1	I_1	A	B	C	D
V_1	$-I_1$	V_2	I_2	\mathcal{A}	\mathcal{B}	\mathcal{C}	\mathcal{D}

พารามิเตอร์ Z จะคงที่สำหรับทรานซิสเตอร์ที่กำหนดที่จุดทำงานและค่าของความถี่ โดยไม่ได้กับสัญญาณแอมพลิจูด

ค่าของ Z_i อาจหาโดยเปิดเอาต์พุตวงจร ทำให้กระแส $I_2 = 0$ และกำหนดให้กระแส I_1 เกิดจากแรงดัน V_1 ดังนั้น $Z_i = V_1/I_1$ และเรียกว่าอินพุทอิมพีแดนซ์เปิดวงจร (open-circuit input impedance)

ถ้าแรงดัน V_2 เกิดขึ้นที่ปลายเอาต์พุตที่เปิดโดยกระแส I_1 ดังนั้น $Z_f = V_2/I_1$ เรียกว่าฟอร์เวิร์ดอิมพีแดนซ์เปิดวงจร (open-circuit forward-direction transfer impedance)

ในการทำงานเดียวกันค่าของ Z_r หาได้โดยเปิดวงจรอินพุต ทำให้กระแส $I_1 = 0$ และให้แรงดัน V_1 เกิดขึ้นที่ปลายเปิดของอินพุตโดยกระแส I_2 ดังนั้น $Z_r = V_1/I_2$ และเรียกว่ารีเวอร์สอิมพีแดนซ์เปิดวงจร (open-circuit reverse transfer impedance) ถ้าแรงดัน V_2 เกิดขึ้นที่ปลายเอาต์พุตโดยกระแส I_2 ดังนั้น $Z_o = V_2/I_2$ และเรียกว่า เอาท์พุทอิมพีแดนซ์เปิดวงจร (open-circuit output impedance)

1.1.2 แอดมิตแดนซ์ปิดวงจร (Short-Circuit Admittance Parameter) [y]

ถ้าแรงดันเป็นตัวแปรอิสระกระแสขึ้นอยู่กับแรงดัน ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_i & y_r \\ y_f & y_o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

หรือ

$$\begin{aligned} I_1 &= y_i V_1 + y_r V_2 \\ I_2 &= y_f V_1 + y_o V_2 \end{aligned} \quad (6)$$

เมื่อ

$$y_i = \left. \frac{I_1}{V_1} \right|_{V_2=0} = \text{อินพุทแอดมิตแดนซ์ปิดวงจร}$$

$$y_r = \left. \frac{I_1}{V_2} \right|_{V_1=0} = \text{รีเวอร์สแอดมิตแดนซ์ปิดวงจร}$$

$$y_f = \left. \frac{I_2}{V_1} \right|_{V_2=0} = \text{ฟอร์เวิร์ดแอดมิตแดนซ์ปิดวงจร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$y_o = \frac{I_2}{V_2} \Big|_{V_1=0} = \text{เอาท์พุทแอดมิตแตนซ์ปิดวงจร}$$

ค่าแอดมิตแตนซ์พารามิเตอร์อาจเป็นจำนวนจริงหรือจำนวนเชิงซ้อนขึ้นอยู่กับชนิดของทรานซิสเตอร์และความถี่สัญญาณ เมื่อทดลองวัดค่าแอดมิตแตนซ์พารามิเตอร์ วงจรปิดต้องทำให้ V_1 และ V_2 เท่ากับศูนย์ พารามิเตอร์ y นิยมใช้สำหรับความถี่สูง ๆ ประมาณ 100 MHz

1.1.3 ไฮบริดพารามิเตอร์ (Hybrid Parameter) [h]

วงจรเปิดที่มีประสิทธิภาพสูง จะได้จากวงจรซึ่งมีอิมพีแดนซ์น้อยและวงจรปิดที่มีประสิทธิภาพสูงจะได้จากวงจรซึ่งมีอิมพีแดนซ์สูง สำหรับทรานซิสเตอร์ที่เป็นรูปแบบ CB และ CE อิมพีแดนซ์ของเอาท์พุทสูง ฉะนั้นจะทำให้การวัดพารามิเตอร์ของวงจรเปิดที่เอาท์พุทจะมีความแม่นยำและ อิมพีแดนซ์ ของอินพุทจะต่ำ ซึ่งทำให้การวัดพารามิเตอร์ของวงจรเปิดที่อินพุทมีความแม่นยำคือประโยชน์ที่ได้จากการใช้ ไฮบริดพารามิเตอร์

ถ้า I_1 และ V_2 เลือกเป็นตัวแปรอิสระและ V_1 และ I_2 เป็นตัวแปรตาม จะได้

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_i & h_r \\ h_f & h_o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

หรือ

$$\begin{aligned} V_1 &= h_i I_1 + h_r V_2 \\ I_2 &= h_f I_1 + h_o V_2 \end{aligned} \quad (8)$$

เมื่อ

$$h_i = \frac{V_1}{I_1} \Big|_{V_2=0} = \text{อินพุทอิมพีแดนซ์ปิดวงจร}$$

$$h_r = \frac{V_1}{V_2} \Big|_{I_1=0} = \text{รีเวอร์ส โวลท์เตจเกนเปิดวงจร}$$

$$h_f = \frac{I_2}{I_1} \Big|_{V_2=0} = \text{ฟอร์เวิร์ดเคอเรนท์เกนปิดวงจร}$$

$$h_o = \frac{I_2}{V_2} \Big|_{I_1=0} = \text{เอาท์พุทแอดมิตแตนซ์เปิดวงจร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งสี่ตัวนี้เรียกว่า ไฮบริดพารามิเตอร์เพราะมีความแตกต่างกันของมิติ สำหรับวงจรรูปแบบ CB และ CE ต้องลัดวงจรให้ $V_2 = 0$ เกิดขึ้นที่อิมพีแดนซ์สูง (high-impedance) ของขา collector หรือเอาต์พุตของวงจร และต้องเปิดวงจรให้ $I_1 = 0$ เกิดขึ้นที่อิมพีแดนซ์ (low-impedance) ของขาอิมิตเตอร์กับเบส หรืออินพุตของวงจร

ตารางที่ 1.2 แสดงการแปลงระหว่างพารามิเตอร์ ต่างๆ

From \ To	z	y	h
z	z_i z_r	$\frac{y_o}{D_y}$ $-\frac{y_r}{D_y}$	$\frac{D_h}{h_o}$ $\frac{h_r}{h_o}$
	z_f z_o	$-\frac{y_r}{D_y}$ $\frac{y_i}{D_y}$	$-\frac{h_f}{h_o}$ $\frac{1}{h_o}$
y	$\frac{z_o}{D_z}$ $-\frac{z_r}{D_z}$	y_i y_r	$\frac{1}{h_i}$ $-\frac{h_r}{h_i}$
	$-\frac{z_f}{D_z}$ $\frac{z_i}{D_z}$	y_f y_o	$\frac{h_f}{h_i}$ $\frac{D_h}{h_i}$
h	$\frac{D_z}{z_o}$ $\frac{z_r}{z_o}$	$\frac{1}{y_i}$ $-\frac{y_r}{y_i}$	h_i h_r
	$-\frac{z_f}{z_o}$ $\frac{1}{z_o}$	$\frac{y_f}{y_i}$ $\frac{D_y}{y_i}$	h_f h_o

พารามิเตอร์ h อาจเป็นจำนวนจริงหรือจำนวนเชิงซ้อนขึ้นอยู่กับทรานซิสเตอร์และความถี่เพื่อความสะดวกพารามิเตอร์ Z จะแทนด้วย $r + jx$ เพราะ Z, r , และ x วัดเป็นโอห์ม (Ω) ส่วน y พารามิเตอร์แทนด้วย $g + jb$ เพราะว่า y, g , และ b วัดเป็นซีเมน (s) และ พารามิเตอร์ h สามารถแทนเป็นส่วน R_e และ I_m ได้ในรูปของ z และ y

พารามิเตอร์ h นิยมใช้สำหรับความถี่สูงหลาย ๆ เมกะเฮิรตซ์ การเปลี่ยนระหว่าง z, y และ h พารามิเตอร์ให้ไว้ในตารางที่ 1.2 การคำนวณพารามิเตอร์ที่เป็นจำนวนเชิงซ้อนต้องทำอย่างระมัดระวัง

1.2 แอคทีวิตี และ พาสซีวิตี (ACTIVITY AND PASSIVITY)

ทรานซิสเตอร์ใช้เป็นเหมือนวงจรขยายและออสซิลเลเตอร์ซึ่งกำหนดโดยพารามิเตอร์เล็ก ๆ วงจรนั้นสามารถขยายกำลังสัญญาณหรือออสซิลเลตเรียกว่า วงจรแอกทีฟ วงจรพาสซีฟไม่สามารถทำการขยายกำลังหรือออสซิลเลตอย่างต่อเนื่องวงจรประกอบด้วยลิเนียร์ซิสเตอร์, อินคัลเตอร์, คาปาซิเตอร์เป็นวงจรพาสซีฟ

ทรานซิสเตอร์เป็นพาสซีฟ ถ้ากำลังเฉลี่ยรวมทุกส่วนเป็นศูนย์หรือบวก ถ้าเป็นศูนย์วงจรจะไม่สูญเสีย ถ้าเป็นบวกวงจรจะสูญเสีย ถ้ากำลังรวมเป็นลบทรานซิสเตอร์เป็นแอกทีฟกำลังเฉลี่ยรวมทั้งสองส่วนเท่ากับ

$$P = |V_1||I_1|\cos\theta_1 + |V_2||I_2|\cos\theta_2$$

หรือ

$$P = \operatorname{Re}V_1I_1^* + \operatorname{Re}V_2I_2^* = \operatorname{Re}V_1^*I_1 + \operatorname{Re}V_2^*I_2$$

เมื่อคอกจันท์ข้างบนหมายถึงคอนจูเกตตั้งนั้น

$$P = \frac{1}{2}(V_1^*I_1 + I_1^*V_1) + \frac{1}{2}(V_2^*I_2 + I_2^*V_2) \quad (9)$$

ย้ายข้างสมการ (16) จะได้

$$P = \frac{1}{2}(V_1^*I_1 + V_2^*I_2) + \frac{1}{2}(I_1^*V_1 + I_2^*V_2) \quad (10)$$

หรือในรูปแมทริกซ์

$$P = \frac{1}{2}[V^*][I] + \frac{1}{2}[I^*][V] \quad (11)$$

เมื่อ t หมายถึง ทรานสโพอส

$$[I] = [y][V]$$

และ

$$[I^*] = [V^*][y^*] \quad (12)$$

ฉะนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = \frac{1}{2}[V^*][yIV] + \frac{1}{2}[V^*][y^*][V] \quad (13)$$

$$P = [V^*] \left\{ \frac{1}{2}([y] + [y^*]) \right\} [V] \quad (14)$$

$$= [V^*][y_H][V] \quad (15)$$

เมื่อ

$$[y_H] = \frac{1}{2}([y] + [y^*]) \quad (16)$$

แมทริกซ์ $[y_H]$ เรียกว่า hermitian แมทริกซ์ จะเป็น hermitian ถ้าเอลิเมนต์ในแนวเส้นทแยงมุมเป็นจำนวนจริง และถ้าเอลิเมนต์ที่จัดอยู่ด้านข้างของเส้นทแยงมุมเป็น คอมเพลกซ์คอนจูเกต แมทริกซ์ $[y_H]$ จะถูกต้องตามต้องการ การจัดแมทริกซ์ใน (22) เรียกว่า hermitian ของกำลัง P

สำหรับพาสซีวตี (passivity) กำลัง $P \geq 0$ ที่ $V \neq 0$ และ hermitian จะถูกเรียกว่าโพซิทีฟโซมิดีฟิไนท์ (positive semidefinite) ในกรณีของ hermitian ที่เป็นโพซิทีฟโซมิดีฟิไนท์ (positive somidfinite) ค่าดีเทอร์มิแนนท์ของ $[y_H]$ และไมเนอร์ต้องไม่เป็นลบ (negative)

นอกจากนี้เกณฑ์สำหรับพาสซีวตี (passivity) สามารถแสดงโดยแอดมิตแตนซ์พารามิเตอร์เพราะมันเป็นตัวกำหนดเอลิเมนต์ของ $[y_H]$ ถ้าเงื่อนไขพาสซีวตี (passivity) อันหนึ่งอันใด ผิดไป ทรานซิสเตอร์ก็จะเป็นแอคทีฟ

กำหนด y พารามิเตอร์ โดย

$$[y] = \begin{bmatrix} g_i + jb_i & g_r + jb_r \\ g_f + jb_f & g_o + jb_o \end{bmatrix} \quad (17)$$

ดังนั้น

$$[y^*] = \begin{bmatrix} g_i - jb_i & g_r - jb_r \\ g_f - jb_f & g_o - jb_o \end{bmatrix} \quad (18)$$

ทรานสโพส (18) ดังนี้

$$[y^*] = \begin{bmatrix} g_i - jb_i & g_f - jb_f \\ g_r - jb_r & g_o - jb_o \end{bmatrix} \quad (19)$$

ต่อมาบวก (17) กับ (19) และหารด้วย 2

$$[y_H] = \frac{1}{2}([y] + [y^*]) = \begin{bmatrix} g_i & \frac{y_r + y_f^*}{2} \\ \frac{y_f + y_r^*}{2} & g_o \end{bmatrix} \quad (20)$$

สำหรับทรานซิสเตอร์ที่เป็นพาสซีฟดิเทอร์มิแนนท์ของ $[y_H]$ และไมเนอร์ต้องไม่เป็นลบ (negative) นั่นคือ

$$g_i \geq 0 \quad (21)$$

และ

$$g_i g_o - \frac{y_r + y_f^*}{2} \frac{y_f + y_r^*}{2} \geq 0$$

หรือ

$$g_i g_o - \frac{|y_f + y_r^*|^2}{4} \geq 0 \quad (22)$$

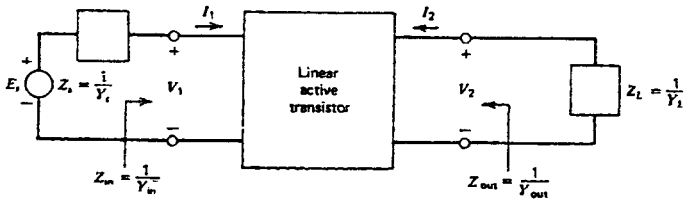
สลับอินพุตและเอาต์พุตแสดงสำหรับพาสซีฟดี

$$g_o \geq 0 \quad (23)$$

ถ้าอันหนึ่งอันใดของเงื่อนไขใน (21)-(23) ไม่ถูกต้อง ทรานซิสเตอร์เป็นแอคทีฟแทนพาสซีฟภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

1.3 คุณสมบัติของวงจรถยาย (AMPLIFIER PROPERTIES)

เมื่อพารามิเตอร์เป็นตามเงื่อนไขข้างต้น ทรานซิสเตอร์เป็นแอคทีฟ มันสามารถที่จะขยายกำลังและทำให้เกิดการออสซิลเลต การจะนำไปใช้งานทรานซิสเตอร์ต้องต่อกับวงจรถ่ายค่าอิมพีแดนซ์ (หรือ แอดมิตแตนซ์) ที่ปลายทั้งอินพุตและเอาต์พุตพอร์ท สำหรับวงจรถยายแหล่งจ่ายสัญญาณจะต่อที่พอร์คอินพุตในรูปที่ 1.3 ในวงจรถ่ายพิจารณาแรงดัน, กระแส, เพาเวอร์เกน, อินพุตและเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ ดังแสดงในตารางที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ลิเนียร์แอกทีฟทรานซิสเตอร์กับการต่อเป็นวงจร 2 คู่สาย

ตารางที่ 1.3 คุณสมบัติของอิมมิตแดนซ์และเกน

Parameter \ Property	z	y	h
Input immittance	$Z_{in} = z_i - \frac{z_r z_f}{z_o + Z_L}$	$Y_{in} = y_i - \frac{y_r y_f}{y_o + Y_L}$	$Z_{in} = h_i - \frac{h_r h_f}{h_o + Y_L}$
Output immittance	$Z_{out} = z_o - \frac{z_r z_f}{z_i + Z_S}$	$Y_{out} = y_o - \frac{y_r y_f}{y_i + Y_S}$	$Y_{out} = h_o - \frac{h_r h_f}{h_i + Z_S}$
Voltage gain $A_V = \frac{V_2}{V_1}$	$\frac{z_f Z_L}{D_z + z_i Z_L}$	$\frac{-y_f}{y_o + Y_L}$	$\frac{-h_f}{D_h + h_i Y_L}$
Current gain $A_i = \frac{I_2}{I_1}$	$\frac{-z_f}{z_o + Z_L}$	$\frac{y_f Y_L}{D_y + y_i Y_L}$	$\frac{h_f Y_L}{h_o + Y_L}$
$Z_L = R_L + jX_L$	$Y_L = G_L + jB_L$	$Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$	$Y_{in} = G_{in} + jB_{in}$
$Z_S = R_S + jX_S$	$Y_S = G_S + jB_S$	$Z_{out} = R_{out} + jX_{out}$	$Y_{out} = G_{out} + jB_{out}$

1.4 สเตบิลิตี และ อินสเตบิลิตี (STABILITY AND INSTABILITY)

เมื่อเกิดการออสซิลเลต วงจรขยายทรานซิสเตอร์จะไม่เสถียรภาพ (unstable) ถ้าอินพุตคอนดักแตนซ์ที่เป็นลบ ไม่สามารถถูกจัดให้หายไปจากอินพุตพาสซีฟ การออสซิลเลตจะไม่เกิด และวงจรทรานซิสเตอร์จะเสถียรภาพ (stable) และอาจจะเป็นเหมือนวงจรขยายมันเป็นไปได้ที่จะเอกซารน์เป็นเอกซารน์ที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกซารน์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เสถียรภาพ (unstable) อย่างไรก็ตามเพราะว่าความแตกต่างของอินพุทพาสซีฟ อาจจะยอมให้เกิดการออสซิลเลต เมื่อทำให้อินพุทหรือเอาต์พุทคอนดักแตนซ์เป็นลบ (negative) ทรานซิสเตอร์จะเป็น inherently หรือ เสถียรภาพแบบสมบรูณ์ มีเพียงวิธีเดียวที่จะใช้เสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherently stable) ทรานซิสเตอร์เป็นออสซิลเลเตอร์โดยจัดชุดป้อนกลับ (feedback) ภายนอก ทรานซิสเตอร์สามารถจะเป็น เสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherently stable) ที่จุดทำงานและความถี่หนึ่งแต่มันอาจจะไม่เสถียรภาพ (unstable) ที่จุดอื่น ๆ

วงจรวจรโพสิทีฟเป็นเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherently stable) ที่อินพุทและเอาต์พุทคอนดักแตนซ์เป็นบวก (positive) แต่วงจรวจรเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherently stable) ไม่จำเป็นต้องเป็นพาสซีฟ เป็นไปได้ที่วงจรวจรไม่เสถียรภาพ (unstable) เป็นแอกทีฟเสมอ แต่ในทางกลับกันไม่จริงเพราะวงจรวจรแอกทีฟสามารถเป็นเสถียรภาพ แบบสมบรูณ์ (inherently stable)

1.5 เงื่อนไขสำหรับการมีเสถียรภาพ (CONDITIONS FOR INHERENT STABILITY)

จาก Y_{in} จากตารางที่ 1.3 และยอมใช้โหลดแอดมิตแตนซ์และ y พารามิเตอร์ เป็นจำนวนเชิงซ้อนกำหนดอินพุทคอนดักแตนซ์ G_{in} เป็นค่าน้อยที่สุดโดยเลือกโหลดพาสซีฟ Y_L และเงื่อนไขที่บังคับ $(G_{in})_{min}$ มากกว่าศูนย์
อินพุทแอดมิตแตนซ์

$$Y_{in} = G_{in} + jB_{in} = g_i - \frac{y_r y_f}{y_o + Y_L} \quad (24)$$

กำหนด

$$y_i = g_i + jb_i$$

$$y_o = g_o + jb_o$$

$$y_r y_f = P + jQ = \frac{M}{\theta}$$

$$Y_L = G_L + jB_L \quad (25)$$

อินพุทคอนดักแตนซ์หาได้จาก

$$G_{in} = g_i - \frac{p(g_o + G_L) + Q(b_o + B_L)}{(g_o + G_L)^2 + (b_o + B_L)^2} \quad (26)$$

ซึ่งเขียนใหม่เป็น

$$G_{in} = \frac{(g_o + G_L)^2 + (b_o + B_L)^2 - (P/g_i)(g_o + G_L) - (Q/g_i)(b_o + B_L)}{[(g_o + G_L)^2 + (b_o + B_L)^2] / g_i} \quad (27)$$

ตัวหารของ (27) เป็นบวกเสมอสำหรับเสถียรภาพแบบสมบูรณ์ (inherent stability) เพราะถ้า $g_i < 0$ วงจรจะออสซิลเลตเมื่อชอร์ตโหลด ในกรณี $g_i = 0$ การออสซิลเลตจะเกิดขึ้นเมื่อชอร์ตโหลด ถ้าไม่มีการสูญเสียของวงจร LC ที่ต่อที่พอร์ตอินพุท ดังนั้นจะใช้เพียงตัวเศษของ (27) กำหนด G_{in}

เทอมหลังบวกและลบด้วย $(P^2 + Q^2)/4g_i^2$ จะได้

$$N = \left[G_L + \left(g_o - \frac{P}{2g_i} \right) \right]^2 + \left[B_L + \left(b_o - \frac{Q}{2g_i} \right) \right]^2 - \frac{P^2 + Q^2}{4g_i^2} \quad (28)$$

โหลดแอดมิตแตนซ์ น้อยสุดใน (28) ฉะนั้น G_{in} น้อยสุดเทอมที่หนึ่งและสองของ (28) เป็นบวกเสมอและแต่ละเทอมจะมีค่าน้อยสุดขึ้นอยู่กับ G_L และ B_L ที่เลือกเทอมแรกเซตให้ $G_L = 0$

เทอมที่สองมีค่าต่ำสุดเป็นศูนย์เมื่อ

$$B_L = - \left(b_o - \frac{Q}{2g_i} \right) \quad (29)$$

ดังนั้น ค่าต่ำสุดของ N เป็น

$$N_{\min} = \left(g_o - \frac{P}{2g_i} \right)^2 - \frac{P^2 + Q^2}{4g_i^2} \quad (30)$$

ถ้า $(G_{in})_{\min} > 0$ ดังนั้น $N_{\min} > 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left(g_0 - \frac{P}{2g_i}\right)^2 - \frac{P^2 + Q^2}{4g_i^2} > 0 \quad (31)$$

จัดใหม่ให้ง่าย

$$g_i g_0 > \frac{P + \sqrt{P^2 + Q^2}}{2} = \frac{P + M}{2} \quad (32)$$

หรือเขียนใหม่ได้เป็น

$$g_i g_0 > \frac{M}{2}(1 + \cos\theta) \quad (33)$$

อสมการ (32) หรือ (31) เป็นเงื่อนไขที่ต้องการให้เป็น
เงื่อนไขสำหรับเสถียรภาพแบบสมบูรณ์ (inherent stability) ได้รวบรวมไว้ด้านล่างที่ความถี่และจุด
ทำงาน ซึ่งกำหนดด้วย y พารามิเตอร์ทรานซิสเตอร์เป็นเสถียรภาพแบบสมบูรณ์ (inherently stable)
ถ้า

$$g_i > 0 \quad (34)$$

และ

$$g_o > 0 \quad (35)$$

และ

$$g_i g_0 > \frac{P + M}{2} \quad (36a)$$

หรือ

$$g_i g_0 > \frac{M}{2}(1 + \cos\theta) \quad (36b)$$

ทรานซิสเตอร์เป็นเสถียรภาพแบบสมบูรณ์ (inherently stable) ถ้าอสมการทั้งหมดถูก
ต้อง ถ้าอสมการอันหนึ่งอันใดไม่ถูกต้องทรานซิสเตอร์จะไม่เสถียรภาพ (unstable)

บทที่ 2

สมิทชาร์ตและโครงข่ายการแมตชิง

THE SMITH CHART AND MATCHING NETWORKS

จำนวนตัวเลขที่สามารถใช้ช่วยในการออกแบบวงจรจะอยู่ในรูปของชาร์ต (charts), กราฟ (graphs), โมนोगราฟ (nomographs) และตารางคำนวณค่าและมีอีกสิ่งหนึ่งที่ใช้ในการได้เกือบทุกชนิดนั้นก็คือสมิทชาร์ต ไม่เพียงใช้สมิทชาร์ตในการแก้ปัญหาสายส่ง (transmission line), เวฟไกด์ (waveguide) และสายอากาศ (antenna) ยังเป็นทางเลือกที่ดีในการแสดงตัวแปรพารามิเตอร์กับความถี่การออกแบบวงจรในเทอมของสแกตเตอริงพารามิเตอร์ (Scattering parameter) จะดีเหมือนการออกแบบวงจรที่สามารถเป็นวงจรไม่เสถียรภาพ (unstable) วิธีที่ดีคือการใช้สมิทชาร์ตช่วยออกแบบวงจรแมตชิง (matching network) เพื่อต้องการให้การต่อวงจรให้ผลดีที่สุด หรือตามเงื่อนไขอื่น ๆ ที่ต้องการจะออกแบบได้เร็วขึ้นถ้าใช้สมิทชาร์ตช่วยในการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ สมิทชาร์ตสามารถใช้จุดจุดที่ปกติ, จุดที่ดีและจุดที่มากเกินไปของตำแหน่งต่าง ๆ โดยเฉพาะ

ไมโครสตริปเป็นส่วนประกอบพื้นฐานของวงจรที่ความถี่สูง ดังนั้นข้อมูลของไมโครสตริปจะสามารถแสดงบนสมิทชาร์ต

วงจรขยายที่มีความถี่สูงบางครั้งสามารถใช้ความยาวสั้นๆ ของไมโครสตริปทำเป็นทูนนิ่งสแต็บ, วงจรแมตชิง (matching network) และอินเตอร์คอนเน็คชั่น (inter connection) การคำนวณเกี่ยวกับไมโครสตริปจะต้องใช้ สมิทชาร์ต

2.1 สมิทชาร์ต (SMITH CHART)

หลักการเบื้องต้นของสมิทชาร์ตเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์ Z และสัมประสิทธิ์การสะท้อน Γ ของสายส่ง หาได้จาก

$$|\Gamma| / \phi = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} \quad (1)$$

เมื่อ Z_0 แทนคาแรคเตอร์ิสติกอิมพีแดนซ์ (characteristic impedance) ของสายหรืออิมพีแดนซ์เปรียบเทียบ (reference impedance) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าบน สมิทชาร์ตที่ใช้

$$\text{กำหนดให้ } \frac{Z}{Z_0} = z = r + jx \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ $|\Gamma| \angle \phi = u + jv$ (3)

จาก (1) จะได้ $u + jv = \frac{r-1+jx}{r+1+jx}$ (4)

แยกส่วนจริง (real) และจินตภาพ (imaginary) จะได้

$$U = \frac{r^2 - 1 + jx}{(r+1)^2 + x^2}$$

$$V = \frac{2x}{(r+1)^2 + x^2} \quad (5)$$

เมื่อกำจัดเทอม x จะได้

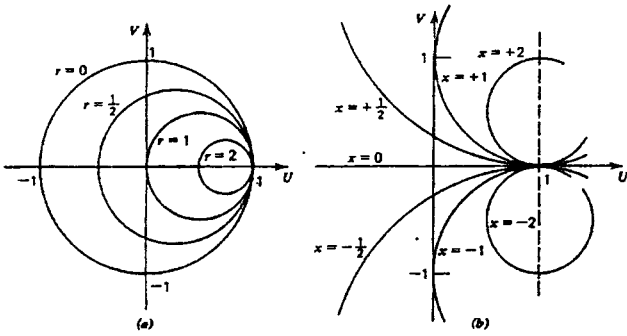
$$[U - (r/(r+1))]^2 + V^2 = [1/(r+1)]^2 \quad (6)$$

ซึ่งเป็นสมการวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ $U = \frac{r}{r+1}$, $V = 0$ และรัศมีเป็น $\frac{1}{r+1}$ วงกลมต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.1a สำหรับ r ที่มีค่าเป็นบวกเท่านั้น เพราะว่ามีค่าลบไม่พบในวงจรพาสซีฟ (passive)

เมื่อกำจัดเทอม r ออกจากสมการ (5) จะได้

$$[U - 1]^2 + [V - (1/x)]^2 = [1/x]^2 \quad (7)$$

ซึ่งแทนกลุ่มของวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ $U = 1, V = \frac{1}{x}$ และรัศมีเป็น $\frac{1}{x}$ เป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ



รูปที่ 2.1 แสดงการสร้ง สมิมชารต์; (a) วงกลม r ; (b) วงกลม x

เมื่อเซตของวงกลมทั้งสองรวมกันจะอยู่ในรูปของสมิมชารต์แกน U และ V จะถูกตัดคั้งไปลิเนียร์สเกลของสัมประสิทธิ์การสะท้อน Γ จะถูกสร้งขึ้น มุม ϕ ทั้งค่าบวกและลบจะถูกสร้งขึ้นที่ขอบนอกของวงกลม $r = 0$ การเพิ่มขึ้นของสเกลพารามิเตอร์ในแนวรัศมีจะเกี่ยวข้องกับค่าการสูญเสีย (loss) และอัตราคลื่นนิ่ง (standing-wave ratio) และสเกลของความยาวคลื่นที่รอบนอกของเส้นรอบวง

กลุ่มที่เหมือนกันของวงกลม r ใช้แทนส่วนประกอบของคอนดัคแตนซ์เอง แอดมิตแตนซ์ Y ทารด้วย Γ_0 ค่าตัวเลขของส่วนนอร์มอลไลซ์รีซีสแตนซ์ (normalize resistance component) หรือส่วนนอร์มอลไลซ์คอนดัคแตนซ์ (normalize conductance components) จะถูกกำหนดตามแกน U ที่ถูกตัดคั้ง ส่วนวงกลม x ที่อยู่เหนือแกนแนวนอนแทนส่วนนอร์มอลไลซ์อินดักทีฟรีแอคแตนซ์ (normalize inductive reactance component) หรือส่วนนอร์มอลไลซ์คาพาซิทีฟซ์สเชพแตนซ์ (nonnormalize capacitive susceptance component) ส่วนด้านล่างของแกนแนวนอนวงกลม x จะแทนส่วนนอร์มอลไลซ์คาพาซิทีฟรีแอคแตนซ์ (normalize capacitive reactance component) หรือส่วนนอร์มอลไลซ์อินดักทีฟซ์สเชพแตนซ์ (normalize inductive susceptance component)

เครื่องมือส่วนใหญ่ที่ใช้งานกับสมิมชารต์เช่น ไม้บรรทัด วงเวียน และเครื่องคิดเลข ความถูกต้องแม่นยำในการใช้จะได้จากความระมัดระวังในการสร้งกราฟพิคอย่างซ้า ๆ

2.1.1 รีซีฟโรเคลอิมมิตแตนซ์ (Reciprocal of immittance)

ค่าของอิมมิตแตนซ์ (immittance) ที่ใช้ในสมิมชารต์ถ้าให้จุดเริ่มต้น $1 + j2$ และจุดปลายที่ $0.2 - j0.4$ เป็นตำแหน่งที่อยู่คนละมุมที่ตรงกันข้ามกันมีรัศมีของชารต์เท่ากันทั้ง 2 ค่านี้จะเป็นรีซีฟโรเคล (recipsocals) กันเพราะ

$$\frac{1}{1+j2} = \frac{1-j2}{1^2+2^2} = \frac{1}{5} - j\frac{2}{5} = 0.2 - j0.4$$

ถ้าสายส่งไม่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากค่าออร์มอลไลซ์อิมพีแดนซ์ (normalized impedance) ของ $1+j2$ จะมีรีซีฟโรเคล $0.2 - j0.4$ นั่นก็คือออร์นอลไลซ์แอดมิตแตนซ์ (normalized admittance) พิสูจน์

$$|\Gamma| \angle \phi = \frac{Z-1}{Z+1} \quad (8)$$

สำหรับค่าออร์มอลไลซ์อิมพีแดนซ์ (normalized impedance) จะได้

$$Z = \frac{1+|\Gamma| \angle \phi}{1-|\Gamma| \angle \phi} \quad (9)$$

รีซีฟโรเคลของ (9) จะเป็นออร์นอลไลซ์แอดมิตแตนซ์ (normalize admittance)

$$Y = \frac{1-|\Gamma| \angle \phi}{1+|\Gamma| \angle \phi} \quad (10)$$

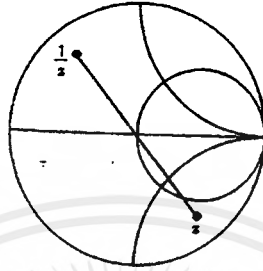
กำหนดค่าของ ϕ ใน (9) มีการเปลี่ยนแปลงมุมไป $\pm 180^\circ$ บนสมิธชาร์ตเท่ากับจุดที่อยู่คนละมุมตรงกันข้ามกับ z นั่นคือทางด้านขวาของสมการ (9) จะกลายเป็น

$$\frac{1+|\Gamma| \angle \phi \pm 180^\circ}{1-|\Gamma| \angle \phi \pm 180^\circ} \quad (11)$$

เมื่อมุม $\pm 180^\circ$ ที่เพิ่มให้กับมุมของจำนวนเชิงซ้อนผลที่ได้จะเหมือนกับการกลับเศษส่วนกันของจำนวนเริ่มต้น ดังนั้น (11) จะกลายเป็น

$$\frac{1-|\Gamma| \angle \phi}{1-|\Gamma| \angle \underline{\phi}} \quad (12)$$

ซึ่งรีซีพโรคัล (reciprocal) ของ (9) แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงรีซีพโรคัลบนสมิทชาร์ตที่อยู่ตรงกันข้ามที่มีรัศมีเท่ากัน

2.1.2 ความต้านทานเชิงลบ (Negative Resistance)

บางครั้งจะมีปัญหาเกิดขึ้นซึ่งต้องระมัดระวังโดยทั่วไปจะเกี่ยวข้องกับความต้านทานเชิงลบ (negative resistance) หรือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมากกว่าปกติและจะเกิดขึ้นเมื่อความแตกต่างระหว่างมุมของ Z และ Z_0 มากกว่า 90° สำหรับ ถ้า $Z = j5$ และ $Z_0 = 3 - j4$ เมื่อ $Z = 0.8 + j0.6, \Gamma = j3 = 3 \angle 90^\circ$ ไม่ใช่ $r = -0.8$ หรือ $\Gamma = 3 \angle 90^\circ$ สามารถกำหนดตำแหน่งใน สมิทชาร์ตที่ใช้

$$|\Gamma| \angle \underline{\phi} = \frac{-r-1+jx}{-r+1-jx} \quad (13)$$

พิจารณา คอนจูเกตรีซีพโรคัล (conjugate reciprocal) ของ (13)

$$\frac{1}{|\Gamma| \angle \underline{\phi}} = \left(\frac{-r+1+jx}{-1-1+jv} \right)^* = \frac{-r+1-jx}{-r-1-jv} \quad (14)$$

กำหนดให้

$$\frac{1}{|\Gamma| \angle \underline{\phi}} = U + jv \quad (15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก (14)
$$U = \frac{r^2 - 1 - x^2}{(r+1)^2 + x^2}$$

และ
$$V = \frac{2x}{(r+1)^2 + x^2} \quad (16)$$

ซึ่งจะเหมือนกับสองความสัมพันธ์ก่อนหน้านี้ของ สมิทชาร์ต ดังนั้น ถ้า $|\Gamma| > 1$, ตำแหน่ง $\frac{1}{\Gamma^*}$ จะแสดงด้วยวงกลมของรีซีสแตนซ์ ที่เป็นลบและวงกลมรีแอกแตนซ์ ที่กำหนดไว้ สำหรับ $\Gamma = 3 \angle 90^\circ$ $\frac{1}{\Gamma^*} = 0.33 \angle 90^\circ$ ซึ่งมี $Z = -0.8 + j0.6$

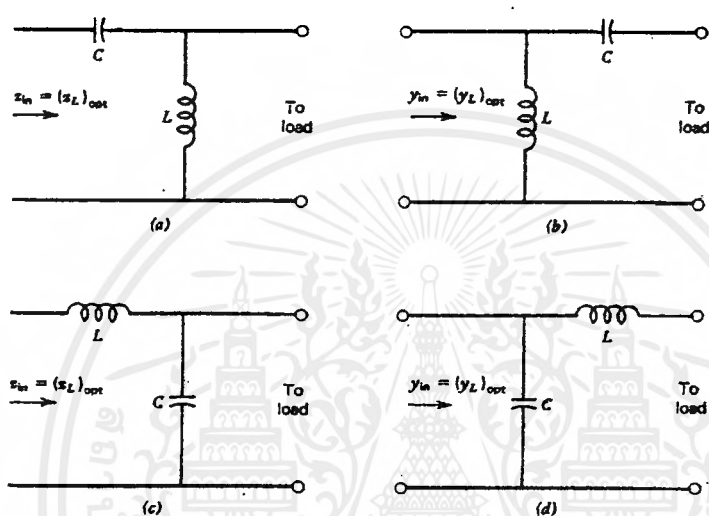
การเป็นความต้านทานเชิงลบ (negative resistance) ไม่ได้เปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ของ รีซีฟโรล ที่กล่าวไว้ใน ส่วนแรก ถ้าจุดเริ่มต้นมีความต้านทานเชิงลบ (negative resistance) ค่า รีซีฟโรล ของมันก็จะมีส่วนประกอบของ real เป็นลบด้วย ดังตัวอย่างเช่น $z = -0.8 + j0.6$ รีซีฟโรล มี ที่ตำแหน่ง $-0.8 - j0.6$

2.1.3 อิมมิแดนซ์แมตซิ่ง (Impedance Matching)

การใช้งาน สมิทชาร์ตในการออกแบบ วงจรแมตซิ่งวงจรขยายที่ความสูงส่งกำลังให้กับจุด ต่อ 50Ω ของสายส่ง อย่างไรก็ตาม ถ้า วงจรขยาย (amplifier) ทำงานภายในเงื่อนไขของ เกนกำลัง สูงสุด (maximum power gain) ที่จุดต่อที่ดีที่สุดต่างจาก 50Ω นั่นคือ เนทเวอร์ค (network) ที่มีการ สูญเสียน้อยจะต้องเปลี่ยนความต้านทานโหลด 50Ω ของสายส่งให้เป็นการต่อที่ได้ผลสูงสุดตามที่ต้องการ

กำหนดให้โหลดขณะนี้เป็น 50Ω แต่ ทรานซิสเตอร์ต้องการ $(Y_L)_{opt}$ ที่ไม่เท่ากับ $\frac{1}{50} S$ จุดประสงค์ของวงจรแมตซิ่ง (matching network) เพื่อเปลี่ยนโหลด 50Ω เป็นค่า Y_{in} เท่ากับ $(Y_L)_{opt}$ และจะทำให้ไม่มีกำลังสูญเสีย สามารถทำได้โดยเพิ่มส่วนของวงจรลดค่าสูญเสีย (Inductors และ capacitor) ต่ออนุกรมหรือขนานเริ่มที่โหลด 50Ω จนกระทั่งถึง Y_{in} เท่ากับ $(Y_L)_{opt}$ ที่จุดต่อด้านข้างของทรานซิสเตอร์ส่วนของวงจรลดค่าสูญเสียเป็นส่วนประกอบของ วงจรแมตซิ่ง (matching network)

เมื่อส่วนของวงจรแมทซิ่ง (matching network) เพิ่มขึ้นในทางอนุกรมกับส่วนประกอบตัวอื่นจะดีที่สุดในกรณีที่เป็นอิมพีแดนซ์ เพราะถ้าเมื่อรวมอิมพีแดนซ์จะทำได้ง่าย เมื่อส่วนของวงจรแมทซิ่ง (matching network) ที่เพิ่มในทางขนานกับส่วนประกอบตัวอื่น ๆ มันจะดี ถ้าใช้เป็นแอดมิทแตนซ์ เพราะถ้าเมื่อรวมแอดมิทแตนซ์จะทำได้ง่าย วงจรแมทซิ่ง (matching network) ชนิด ell sections แสดงในรูปที่ 2.3 การจะเลือกใช้ชนิดใดขึ้นอยู่กับค่า $(Z_L)_{opt} = \frac{1}{(Y_L)_{opt}}$



รูปที่ 2.3 แสดงวงจรแมทซิ่งแบบ Ell-section

พิจารณาวงจรและสมิธชาร์ตในรูปที่ 2.4a มีอินดักทีฟซ์สเวปแตนซ์ (inductive susceptance) ต่อขนานกับโหลดซ์สเวปแตนซ์ (load susceptance) สมมุติว่าโหลดที่จุดต่อของสายส่งมีค่าเป็น Z_0 (รีซีสทีฟ ที่ความถี่สูง) ใช้ Z_0 เมื่อต้องการนอร์มอลไลซ์อิมพีแดนซ์ (normalize impedance) และ $Y_0 = \frac{1}{Z_0}$ เมื่อต้องการนอร์มอลไลซ์แอดมิทแตนซ์ (normalize admittance) นั่นคือ นอร์มอลไลซ์ของโหลดเป็น $Y_L = 1 + j0$ ดังนั้นเมื่อเพิ่มนอร์มอลไลซ์อินดักทีฟซ์สเวปแตนซ์ (normalize inductive susceptance) ต่อขนานให้กับนอร์มอลไลซ์แอดมิทแตนซ์ (normalize admittance) $Y_{AB} = 1 - jb_{AB}$ วัตถุประสงค์ของ Y_{AB} เป็นครึ่งวงกลมส่วนล่างของวงกลมคอนดักแตนซ์ที่ $G/Y_0 = 1$ เหมือนกับที่แสดงในรูปที่ 2.4a ส่วนวิธีของจุดของ รีซีพโรคัล (reciprocal) Y_{AB} ก็จะเป็นวงกลมเล็ก ๆ รัศมีเท่ากับวงกลม G/Y_0 ในการออกแบบวงจรแมทซิ่ง (matching network) ต้องใช้วงกลมทั้งสองนี้ซึ่งมันจะเขียนอยู่บนสมิธชาร์ต

แต่ถ้าเพิ่มคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ (capacitive reactance) ให้กับ Z_{AB} สมิมิซาร์ต ก็จะพิจารณาในเทอมของอิมพีแดนซ์แทนแอดมิตแตนซ์ ค่าของนอร์มอลไลซ์คาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ (normalize capacitive reactance) จะเพิ่มขึ้นวิถีจุดของ Z_{in} จะย้ายไปตามวงกลม r ที่คงที่ โดยค่าจะขึ้นอยู่กับ C และความถี่ทุกจุดบนพื้นที่ไม่แรงเงาของสมิมิซาร์ตแทนค่าของ Z_{in} ที่สามารถใช้ได้กับวงจร ส่วนพื้นที่ที่แรงเงาแทนรีซีพโรเคล (reciprocal) ของ Z_{in} นั่นคือแสดงตำแหน่งของ Y_{in} ทั้งหมดที่สามารถใช้ได้กับวงจร

การออกแบบจะใช้วงจรตามความเหมาะสม คำนวณ Y_{in} และตรวจสอบว่ามันตกอยู่ในพื้นที่แรงเงาของรูปที่ 2.4a ถ้าถูกต้อง กำหนดเป็นจุดที่ 1 และสร้างรีซีพโรเคล (reciprocal) ของ Y_{in} และกำหนดเป็นจุดที่ 2 จุดค่าของวงกลม r และ x ที่ผ่านจุด 2 เขียนวงกลมเล็ก ๆ แทนวิถีจุดของ Z_{AB} สังเกตว่ามันจะตัดกับวงกลม r ที่จุดที่ 3 จุดค่าของวงกลม x ผ่านจุดที่ 3 ดังนั้น คาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ (capacitive reactance) ที่ต่ออนุกรมเอง C หาได้จาก

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = Z_0(X_3 - X_2) \quad (17)$$

เมื่อ X_3 และ X_2 คือค่าของวงกลม X ที่ผ่านจุดที่ 3 และ 2 ตามลำดับขั้นต่อไปสร้างรีซีพโรเคล (reciprocal) ของจุดที่ 3 จะได้เป็นจุดที่ 4 ซึ่งต้องตกลงบนวงกลม $G/Y_0 = 1$ จุดขนาดของซัสเซพแตนซ์ (susceptance) ของวงกลมที่ผ่านจุดที่ 4 ดังนั้นอินดักแตนซ์ซัสเซพแตนซ์ (inductance susceptance) ของ L หาได้จาก

$$B = -\frac{1}{\omega L} = Y_0(-b_4) = \frac{-b_4}{Z_0} \quad (18)$$

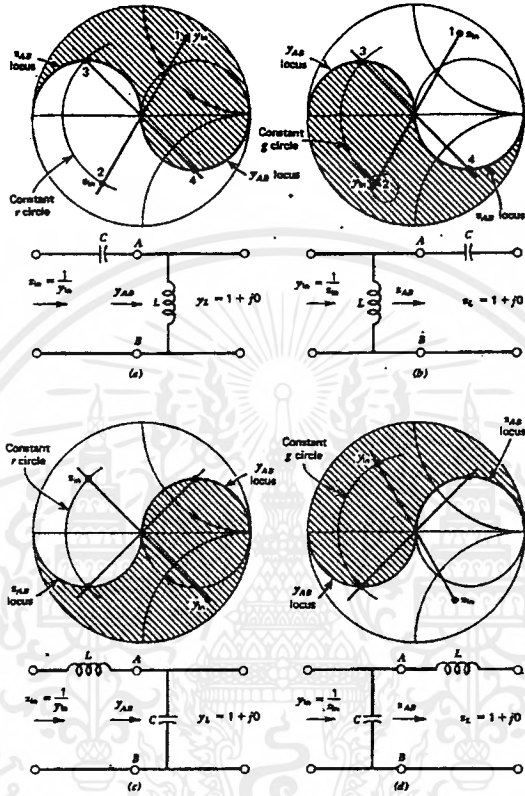
ดังนั้นอินดักทีฟรีแอกแตนซ์ (inductive reactance) ของ L หาได้จาก

$$XL = \omega L = \frac{Z_0}{b_4} \quad (19)$$

เมื่อ b_4 เป็นขนาดของวงกลมซัสเซพแตนซ์ (susceptance) ที่ผ่านจุดที่ 4 เมื่อทราบ Z_0 และความถี่จะสามารถหาค่า L และ C ได้

พิจารณาวจรในรูปที่ 2.3b ในที่นี้เพิ่มคาปาซิแตนซ์ (capacitance) ให้กับโหลดรีซิสแตนซ์ (load resistance) ในกรณีนี้ วิถีจุดของ Z_{AB} จะไปตามวงกลม $r = 1$ เหมือนที่แสดงในรูปที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4b ค่า รีซีพโรคัล (reciprocal) ของจุดนั้นจะได้เป็นวงกลมเล็ก ๆ ซึ่งแทนวิถีจุดของ Y_{AB} อีกด้วย ถ้าเพิ่มอินดักทีฟซ์สเชพแตนซ์ (inductive susceptance) ให้ขนานกับ L เป็นเหตุให้ค่าที่ใช้ได้ของ Y_{in} ตกลงบนพื้นที่ที่แรเงาของรูปที่ 2.4b



รูปที่ 2.4 (a-d) แสดงการสร้างสมิธชาร์ตสำหรับการแมทช์ระหว่างสายส่งกับโหลด

ขั้นตอนการออกแบบจะใช้วงจรที่เหมาะสม คำนวณค่า Y_{in} และตรวจสอบว่ามันตกลงในพื้นที่แรเงาที่เหมาะสม กำหนดเป็นจุดที่ 2 ในรูปที่ 2.4b แน่ใจว่าถ้าเรารู้ Z_{in} ที่จุดที่ 1 รีซีพโรคัล (reciprocal) ของมันจะเป็นจุดที่ 2 จุดค่าของวงกลม g และ b ที่ผ่านจุดที่ 2 เขียนวงกลมเล็ก ๆ แทนวิถีของ Y_{AB} สังเกตว่ามันจะตัดกับวงกลม g ที่จุด 3 จุดค่าของวงกลม b ที่ผ่านจุดที่ 3 ดังนั้น อินดักทีฟซ์สเชพแตนซ์ (inductive susceptance) ของ L หาโดย

$$B = \frac{1}{WC} = Y_0(b_3 - b_2) = \frac{b_3 - b_2}{Z_0} \quad (20)$$

หรือ อินดักทีฟรีแอคแตนซ์ (inductive reactance) เป็น

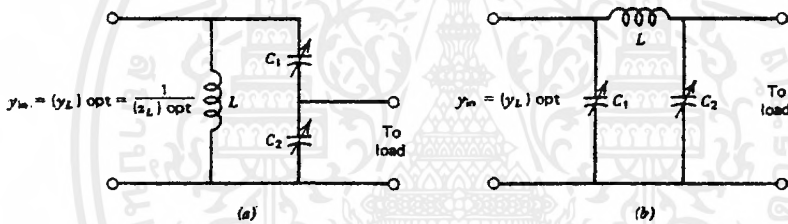
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$WL = \frac{Z_0}{b_3 - b_2} \quad (21)$$

เมื่อ b_3 และ b_2 เป็นค่าของวงกลม b ที่ผ่านจุดที่ 3 และ 2 ตามลำดับ ต่อไปสร้างรีซิโปรคัล (reciprocal) ของจุดที่ 3 จะได้เป็นจุดที่ 4 ซึ่งต้องตกลงบนวงกลม $R/Z_0 = 1$ จุดค่าขนาดของ รีแอกแตนซ์ (reactance) ที่ผ่านจุดที่ 4 ค่าของคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ (capacitive reactance) ของ C เป็น

$$X_C = -\frac{1}{WC} = Z_0(-X_4) \quad (22)$$

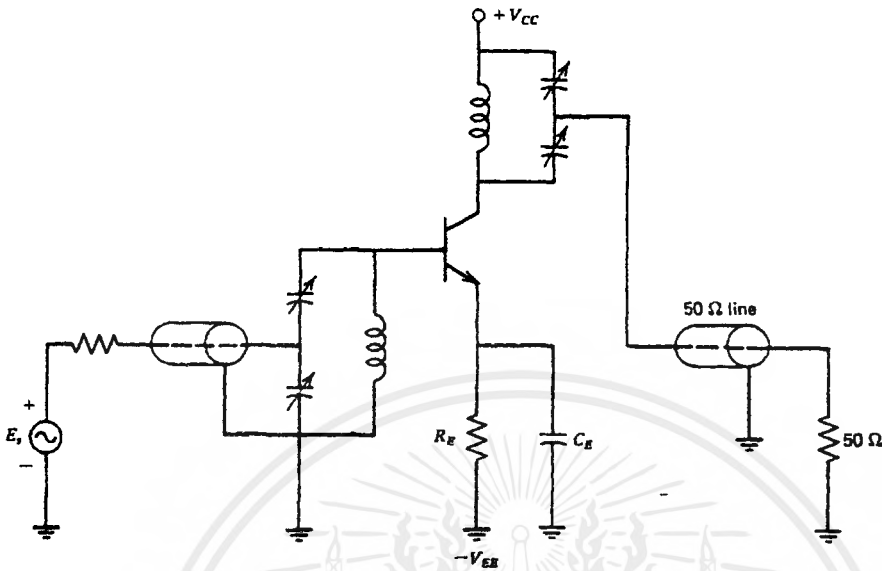
เมื่อ X_4 เป็นขนาดของวงกลมรีแอกแตนซ์ (reactance) ที่ผ่านจุดที่ 4 เมื่อทราบ Z_0 และ ความถี่ก็จะสามารถหาค่า L และ C ได้



รูปที่ 2.5 (a) วงจรแมทซิ่งแบบ Tapped-capacitor ; (b) วงจรแมทซิ่งแบบ p-section

แต่คาปาซิแตนซ์ (capacitance) ที่ต้องการใน cll-section ทั่วไปไม่ใช่ค่าเป็นค่ามาตรฐาน ฉะนั้น จึงใช้ คาปาซิเตอร์ (capacitor) ปรับค่าได้มาใช้ในช่วง คาปาซิแตนซ์ (capacitance) ที่ต้องการ ส่วนอินดักแตนซ์ (inductance) ที่ต้องการสามารถปรับโดยการเปลี่ยนตัวหรือปรับจำนวนรอบของ ขดลวดทางกายภาพ หรือโดยใส่คาปาซิเตอร์ (capacitor) ปรับค่าได้ต่ออนุกรมกับ อินดักแตนซ์ (inductance) ที่มีค่ามากตามต้องการ เมื่อปรับค่าคาปาซิแตนซ์ (capacitance) ที่ต่ออนุกรม ผลจะ เปลี่ยนแปลงอินดักแตนซ์ (inductance) ของผลรวมเป็นค่าที่ถูกต้องตามต้องการ

ทั้งสองส่วนประกอบใน cll เนทเวอร์ค ต้องปรับเป็นการชดเชยค่าการผิดพลาดจากการวัด และการคำนวณและ คาปาซิแตนซ์ (capacitance) ที่ผิดพลาด เพื่อปรับวงจรให้ได้ เกนกำลังสูงสุด (maximum power gain) แอดมิทแตนซ์ (admittance) จะอยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ บนสมิทชาร์ตยกเว้น ในพื้นที่วงกลม $g = 1$ ชนิดที่ใช้แสดงในรูปที่ 2.6

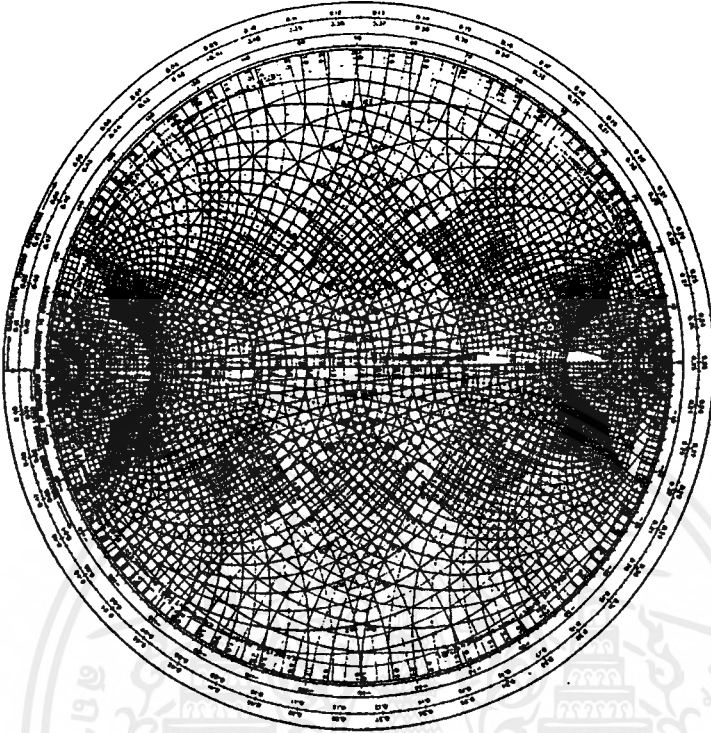


รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างวงจรที่ใช้วงจรแมทชิงแบบ Tapped-capacitor

ส่วน II-section เนทเวอร์คในรูปที่ 2.5b มีลักษณะเด่นคือทุกจุดบนสมิทชาร์ตสามารถใช้ได้มันมักใช้ในตัวส่ง (transmitter) แต่โดยทั่วไปต้องเพิ่ม DC blocking คาปาซิเตอร์ และ RF choke ให้กับแหล่งจ่ายที่ไบอัสไฟ DC

2.2 อิมมิตแตนซ์ชาร์ต (IMMITTANCE CHART)

การสร้างรูปทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นจะถูกยกเลิกไปโดยอิมมิตแตนซ์ชาร์ต (immittance chart) เพราะว่ามันแสดงได้ทั้งพิกัดของอิมพีแดนซ์และแอดมิตแตนซ์ที่จุดใด ๆ ทำโดยการซ้อนทับสองสมิทชาร์ตพิมพ์ในสองสีที่ต่างกัน ซึ่งสมิทชาร์ตอันหนึ่งจะถูกหมุนไป 180° ซึ่งสัมพันธ์กับอีกอันหนึ่งอิมมิตแตนซ์ชาร์ต (immittance chart) แสดงในรูปที่ 2.7 ถ้าจุดบนสมิทชาร์ตเข้ม (dark smith chart) แทน รีซีพโรคัลนอร์มอลไลซ์อิมพีแดนซ์ (normalize impedance reciprocal) ของมันหาได้ง่าย ๆ โดยดูที่พิกัดจุดเดียวกันที่แสดงโดย สมิทชาร์ตอ่อน (light smith chart) ไม่จำเป็นต้องสร้างจุดใหม่ การวิเคราะห์และออกแบบทำได้โดยไม่ต้องสร้างจุดใหม่ การวิเคราะห์และออกแบบทำได้โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายและมีความถูกต้องแม่นยำสูงกว่าเดิม แสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงอิมิตแดนซ์ชาร์ต

2.2.1 การแมทซิ่งแบบอิมิตแดนซ์ค่าจริง (Matching Real Immitance)

การใช้อิมิตแดนซ์ชาร์ต (immittance chart) ขั้นแรกเลือกสมิทชาร์ตที่จะแทนนอร์มอลไลซ์อิมพีแดนซ์ (normalize impedance) และแทนนอร์มอลไลซ์แอดมิตแดนซ์ (normalize admittance) อาจเกิดการสับสนกับการหลอกตาด้วยสิ่งที่เรากำลังพิจารณาว่าชาร์ตไหนเป็นอะไร นั่นคือต้องทำเครื่องหมายในที่สะดวกในการพิจารณาสำหรับตัวอย่างให้ dark $\rightarrow Z$ และ light $\rightarrow y$ เมื่อโหลดแอดมิตแดนซ์ (load admittance) ที่ใช้เป็นค่าจริง $Y_0 = G_L + j_0$ นอร์มอลไลซ์ของมัน และแอดมิตแดนซ์ (admittance) อื่น ๆ ที่เป็นค่าจริง (real) หรือจำนวนเชิงซ้อน (complex) เทียบกับ G_L ได้ดังนี้

$$Y_L = \frac{Y_L}{G_L} = \frac{G_L + J_0}{G_L} = 1 + J_0 \quad (23)$$

ซึ่งจะอยู่บนวงกลม $g = 1$ เสมอที่จุดศูนย์กลางของอิมิตแดนซ์ชาร์ต (immittance chart)

ส่วนนอร์มอลไลซ์อิมพีแดนซ์ (normalize impedance) นั้นเทียบกับ $\frac{1}{G_L}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อโหลดอิมพีแดนซ์ (load impedance) ที่ใช้เป็น $Z_L = R_L + J_0$ นอร์มอลไลซ์ของมัน และอิมพีแดนซ์ตัวอื่นๆ เป็นค่าจริง (real) หรือจำนวนเชิงซ้อน (complex) เทียบกับ R_L ได้ดังนี้

$$Z_L = \frac{Z_L}{R_L} = \frac{R_L + J_0}{R_L} = 1 + J_0 \quad (24)$$

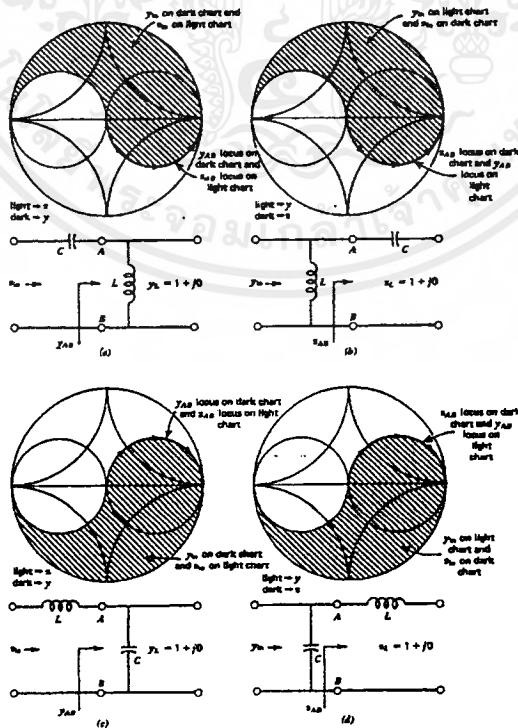
ซึ่งจะอยู่บนวงกลม $r = 1$ เสมอที่จุดศูนย์กลางของอิมพีแดนซ์ชาร์ต (immittance chart)

ส่วนนอร์มอลไลซ์แอดมิแตนซ์ (normalize admittance) เทียบกับ $\frac{1}{R_L}$

พิจารณาวงจรและอิมพีแดนซ์ชาร์ต (immittance chart) ของรูปที่ 2.8a ซึ่ง dark $\rightarrow y$ และ light $\rightarrow Z$ ถ้า อินดักทีฟซีพแชนแดนซ์ (inductive susceptance) เพิ่มขึ้นที่ Y_L จุดที่ได้จะเคลื่อนไปตามวิถีจุดของ Y_{AB} บนชาร์ตเข้ม (dark chart) แต่จุดนั้นจะเป็นจุดเดียวกับ Z_{AB} บนชาร์ตอ่อน (light chart)

ถ้าคาปาซิทีฟรีแอกแตนซ์ (capacitive reactance) เพิ่มขึ้นในทางอนุกรมกับ Z_{AB} จุดของ Z_{in} จะวิ่งไปตามวงกลม r ที่คงที่ของชาร์ตอ่อน (light chart) ได้อยู่ในพื้นที่แรเงาและพื้นที่นี้จะแทนด้วย Y_{in} บนชาร์ตเข้ม (dark chart)

ลักษณะของวงจรและการรวมอิมพีแดนซ์ชาร์ต (immittance chart) ในกรณีอื่น ๆ แสดงในรูปที่ 2.8(a-d)



รูปที่ 2.8(a-d) อิมพีแดนซ์ชาร์ตอย่างง่าย

2.2.2 การแมทซิ่งแบบอิมมิตแดนซ์จำนวนเชิงซ้อน (Matching Complex Immittance)

เป็นไปได้ที่จะเปลี่ยนโหลดที่มีส่วนจินตภาพในโหลดให้มีเพียงส่วนค่าจริงอย่างเดียวย่าง
ๆ โดยเพิ่มอิมมิตแดนซ์จำนวนเชิงซ้อน (imaginary immittance) ที่มีขนาดเท่ากันและมีเครื่องหมาย
ตรงกันข้ามให้กับโหลด วิธีข้างต้นสามารถใช้ได้ตรงกับกรอกแบบ วงจรแมทซิ่ง (matching
network)

เมื่อโหลดอิมมิตแดนซ์ (load admittance) เป็น $Y_L = G_L + jB_L$ นอร์มอลไลซ์ของมัน
และ แอดมิตแดนซ์ (admittance) ตัวอื่นเทียบกับ G_L เป็นดังนี้

$$Y_L = \frac{Y_L}{G_L} = \frac{G_L + jB_L}{G_L} = 1 + j\frac{B_L}{G_L} = 1 + jB_L \quad (25)$$

ซึ่งจะอยู่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในวงกลม $g = 1$ เสมอ โดยตำแหน่งจะขึ้นอยู่กับ
 $b_2 = \frac{B_L}{G_L}$ ส่วนนอร์มอลไลซ์อิมพีแดนซ์นั้นจะเทียบกับ $\frac{1}{G_L}$

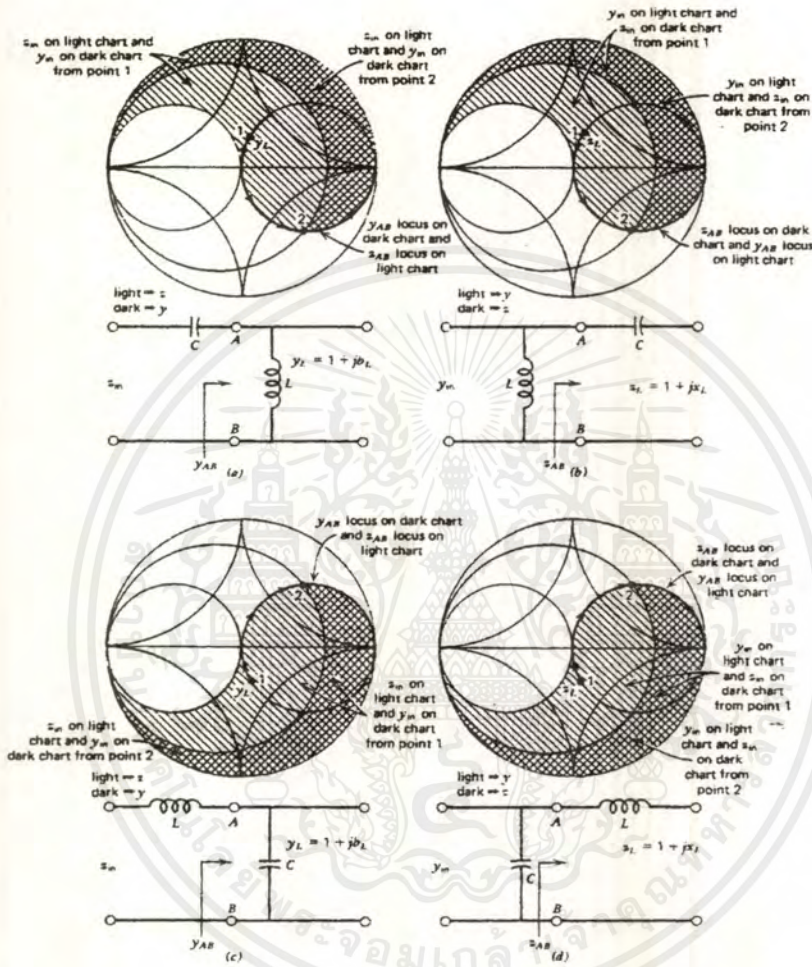
เมื่อโหลดอิมพีแดนซ์ (load impedance) เป็น $Z_L = R_L + jX_L$ นอร์มอลไลซ์ของมันและ
อิมพีแดนซ์ (impedance) ตัวอื่น ๆ เทียบกับ R_L ดังนี้

$$Z_L = \frac{Z_L}{R_L} = \frac{R_L + jX_L}{R_L} = 1 + j\frac{X_L}{R_L} = 1 + jX_L \quad (26)$$

ซึ่งจะอยู่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งในวงกลม $r = 1$ เสมอ โดยตำแหน่งจะขึ้นอยู่กับ
 $X_2 = \frac{X_L}{R_L}$ ส่วนนอร์มอลไลซ์แอดมิตแดนซ์เทียบ $\frac{1}{R_L}$

พิจารณาวงจรและการรวมของอิมมิตแดนซ์ชาร์ต (immittance chart) ในรูปที่ 2.9a ซึ่ง
แทนสำหรับ dark $\rightarrow y$ และ light $\rightarrow Z$ สมมุติ Y_2 เป็นจุดที่ 1 บน ชาร์ตเข้ม (dark chart) เมื่ออิน
ดักทีฟซัสเซพแตนซ์ (inductive susceptance) ของ L เพิ่มขึ้นในทางขนาน จุดที่ได้จะต่อออกไปจาก
จุดที่ 1 ไปตามวงกลม $g = 1$ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเท่านั้น นั่นคือการสร้างวิถีของ Y_{AB} บน
ชาร์ตเข้ม (dark chart) ซึ่งจะเป็่วิจิตจุดของ Z_{AB} บนชาร์ตอ่อน (light chart) ด้วย เมื่อคาปาซิทีฟรี
แอดแตนซ์ (capacitive reactance) เพิ่มขึ้นในทางอนุกรมกับ Z_{AB} ก็จะได้ Z_{in} ซึ่งเป็นไปได้ว่า
ตำแหน่งของ Z_{in} จะพบที่ตำแหน่งต่อออกไปจากวิถีจุดของ Z_{AB} ที่ครึ่งวงกลมด้านล่างของอิมมิต
แดนซ์ชาร์ต (immittance chart) ไปตามวงกลม r ที่คงที่บนชาร์ตอ่อน (light chart) ในทิศทางตาม
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มนาฬิกา พื้นที่ถูกแรเงาทั้งหมดแทนตำแหน่งที่เป็นไปได้ของ Z_{in} บนชาร์ตอ่อน (light chart) หรือ Y_{in} บนชาร์ตเข้ม (dark chart) นั้นสามารถได้มาจาก Y_2 ใดๆ เหมือนกับในจุดที่ 1 ครั้งบนของวงกลม $g = 1$



รูปที่ 2.9 (a-d) แสดงวงจรและการรวมอิมิตแดนซ์ชาร์ตสำหรับโหลดเชิงซ้อน

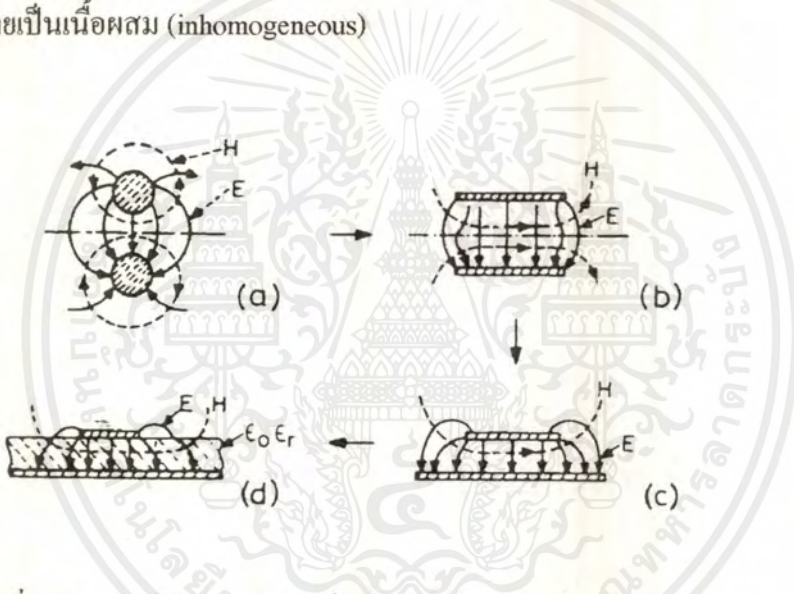
พื้นที่ที่แรเงาจะแคบมากขึ้นจะเป็นไปได้ถ้าแทนตำแหน่งของ Z_{in} หรือ Y_{in} ที่ได้จาก Y_L ใดๆ ที่เหมือนกันที่จุดที่ 2 ในส่วนของครึ่งล่างของวงกลม $g = 1$ นี้จะทำให้บางครั้งพื้นที่ที่เหมาะสมแคบลง ถ้าต้องการใช้ Y_{in} หรือ Z_{in} ที่อยู่ด้านนอกพื้นที่ กรณีเช่นนี้ จุดที่ 2 สามารถจะย้ายเส้นตัดพื้นที่ไปที่ไว้ที่จุดศูนย์กลางของอิมิตแดนซ์ โดยการเพิ่มซัสเซพแตนซ์ (susceptance) หรือรีแอคแตนซ์ (reactance) ที่มีเครื่องหมายเป็นตรงกันข้ามให้กับโหลดวิธีนี้พื้นที่ที่เหมาะสมก็จะขยายขึ้นขอบเขตสุดท้ายของพื้นที่ก็จะใกล้เคียงกับจุดที่ 1

2.3 ไมโครสตริป (MICROS TRIP)

เมื่อความถี่ใช้งานสูงเพียงพอ การใช้ส่วนของสายส่งจะมีลักษณะเหมือนกับหน่วยเล็ก ๆ ของวงจรซึ่งกลายเป็นวิธีที่ใช้กันมากเพราะว่าต้องการความยาวไม่มาก

2.3.1 รูปแบบสนามของไมโครสตริป (Microstrip field configuration)

ไมโครสตริปเป็นสายส่งสองตัวนำสามารถพิจารณาในลักษณะวิวัฒนาการของสายส่งสองสาย (two-wire) ในรูปที่ 2.10 ซึ่งแปลงจาก (a) ไป (b) เป็นปัจจัยในการเปลี่ยนรูปร่างของตัวนำ และจาก (b) ไป (c) นำไปสู่การวางแผ่นตัวนำในระนาบที่สมมาตร ในรูป (d) ได้โดยการใส่ไดอิเล็กทริกบาง ๆ เข้าไประหว่างตัวนำทั้งสอง และผลที่เกิดขึ้นหลังจากขั้นสุดท้ายนี้คือ ไดอิเล็กทริกตรงกลางของสายส่งจะกลายเป็นเนื้อผสม (inhomogeneous)



รูปที่ 2.10 แสดงวิวัฒนาการของไมโครสตริปจากสายส่งแบบสองสาย

ไมโครสตริปไลน์เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับสายส่งอื่นๆ เช่น เปรียบเทียบกับสตริปไลน์ จะสังเกตว่าแผ่นไมโครสตริปจะเปิดที่ด้านบน รูปแบบที่เปิดนี้จะทำให้ไมโครสตริปเหมาะสมมากสำหรับใช้ในวงจรรวมไมโครเวฟ (MIC) เมื่อมีอุปกรณ์ (แอคทีฟ หรือ พาสซีฟ) ที่ต้องสร้างในวงจร ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเป็นไปได้ที่รวมเข้าไว้หลังจากวงจรได้สร้างเสร็จแล้ว อย่างไรก็ตามแผ่นเปิดของไมโครสตริปก็เป็นเหตุให้เกิดความยุ่งยากบางอย่างในการวิเคราะห์และออกแบบไมโครสตริป เพราะความจริงนั้นการที่ไดอิเล็กทริกเป็นอากาศจะเปลี่ยนโหมดในการแพร่ในไมโครสตริปเป็น non-TEM hybrid

2.3.2 การวิเคราะห์ควอไซ - สเตติกของไมโครสตริป (Quasi - Static Analyses of Microstrip)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์ควอไซ - สเตติก โหมดของการแพร่กระจายคลื่นในไมโครสตริป สมมติเป็นโหมด TEM บริสุทธิ์ คุณลักษณะการส่งเป็นการคำนวณจาก คาปาซิแตนซ์ต่อค่า ค่าแรก C_a สำหรับหน่วยความยาวของไมโครสตริปซึ่งได้อิเล็กทริกแทนด้วยอากาศ และ C สำหรับหน่วยความยาวของไมโครสตริปซึ่งเป็นได้อิเล็กทริกใช้ในปัจจุบัน ค่าของอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ Z_{om} และค่าคงที่เฟส β สามารถเขียนในเทอมของคาปาซิแตนซ์ ดังนี้

$$Z_{om} = Z_{om}^a (C_a / C)^{1/2} \quad (27)$$

และ

$$\beta = \beta_o (C / C_a)^{1/2} \quad (28)$$

การแปลงจากไมโครสตริป (ระนาบ Z) เป็นแผ่นคาปาซิเตอร์ขนาน (ระนาบ Z') แสดงในเทอม logarithmic ของเซต้าฟังก์ชัน θ_4 และพารามิเตอร์ $k = K/K'$

$$z = -\frac{2hK}{\pi} \frac{\partial}{\partial z'} \ln [\theta_4(z', k)] \quad (29)$$

เมื่อ $k = K(m)$ และ $k' = K'(m)$ เป็นอินทิกรัลรอบวงรีชนิดที่ 1 กับโมดูลัส m (modulus m) อิมพีแดนซ์คุณลักษณะ Z_{om} ของไมโครสตริปความกว้าง W และสูง h ($t=0$) จะได้สมการ

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \frac{\partial}{\partial \zeta} \ln [\theta_4(\zeta, k)] \quad (30)$$

$$dn^2(2K\zeta) = E / K \quad (31)$$

$$Z_{om}^a = \frac{1}{2} (\mu_o / \epsilon_o)^{1/2} K' / K \quad (32)$$

เมื่อ μ_o และ ϵ_o เป็นค่าคงที่ เพอร์มีอิตีวี่ (permeability) และเพอร์มิตตีวี่ดี (permittivity) ของสูญญากาศตามลำดับ และ Z_{om}^a เป็นอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของไมโครสตริปซึ่งมีได้อิเล็กทริกเป็นอากาศ ฟังก์ชัน $E = E(m)$ เป็นอินทิกรัลรอบวงรี ชนิดที่ 2 และ dn เป็นฟังก์ชันวงรีจาโคเบน (Jacobian elliptic) logarithmic ของเซต้าฟังก์ชัน กำหนดโดย

$$\frac{\partial}{\partial \zeta} \ln [\theta_4(\zeta, k)] = 4\pi \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2n\pi\zeta)}{\exp(n\pi k) - \exp(-n\pi k)} \quad (33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (30) ถึง (32) สามารถใช้สำหรับออกแบบไมโครสตริปถ้าทราบค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ Z_{om}^a ค่า K/K' เป็นการคำนวณจากสมการ (32) โมดูลัส m ของฟังก์ชันวงรีหาโดยตารางที่ค่า K/K' ดังนั้น E และ K หาได้โดยใช้ค่า m นี้ การแก้สมการ (31) โดยกำหนดค่า ζ ถ้าทราบค่า ζ และ $k=K/K'$ W/h ของไมโครสตริปคำนวณจาก (30) และ (33) การแปลงใช้สำหรับสตริปกว้าง ($W/h > 2$) เป็น

$$z = j\pi + d \tanh(z'/2) - z' \quad (34)$$

การเปลี่ยน z เทียบกับระนาบไมโครสตริป (ดูรูปที่ 2.11) และ Z' เป็นระนาบซึ่งรูปแบบไมโครสตริปแปลงเป็นระนาบแผ่นคาปาซิเตอร์ขนาน พารามิเตอร์ d ประมาณเท่ากับ g' ของรูปที่ 2.11(b) รอยต่อไดอิเล็กทริกอากาศของไมโครสตริปแปลงเป็นเคิร์ฟวงรี ba' แสดงในรูปที่ 2.11(b) และแปลงเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยประมาณในรูปที่ 2.11(c) พื้นที่ ($\pi s'$) นอกเคิร์ฟเขียนในเทอมของ “พื้นที่ขนาน” (parallel area) $\pi s''$ และ “พื้นที่อนุกรม” (series area) $\pi(s'-s'')$ พื้นที่อนุกรมและขนานสามารถเขียนในเทอมของพื้นที่ขนานสมมูลย์ (equivalent parallel area) s แสดงโดยรูปที่ 2.11d

$$s = s'' + (s' - s'') / \epsilon_r$$

ประสิทธิภาพเติมส่วน (effective filling fraction)

$$q = (g' - a' - s) / g'$$

ประสิทธิภาพค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (effective dielectric constant) สัมพันธ์กับประสิทธิภาพเติมส่วน

$$\epsilon_{re} = (1 - q) - q\epsilon_r$$

ความแตกต่างสำหรับ ϵ_{er} ของไมโครสตริปกว้าง ($W/h > 2$) และไมโครสตริปแคบ ($W/h < 2$) ที่ใช้โดยประมาณทั้งสองกรณี คือ

สำหรับสตริปกว้าง

$$q = 1 - \frac{1}{d} \lambda n \frac{d+c}{d-c} + \frac{0.732}{d\epsilon_r} \left[\lambda n \frac{d+c}{d-c} - \cos ah^{-1}(0.358d + 0.595) \right] + \frac{\epsilon_{r-1}}{d\epsilon_r} \left[0.386 - \frac{1}{2(d-1)} \right] \quad (35)$$

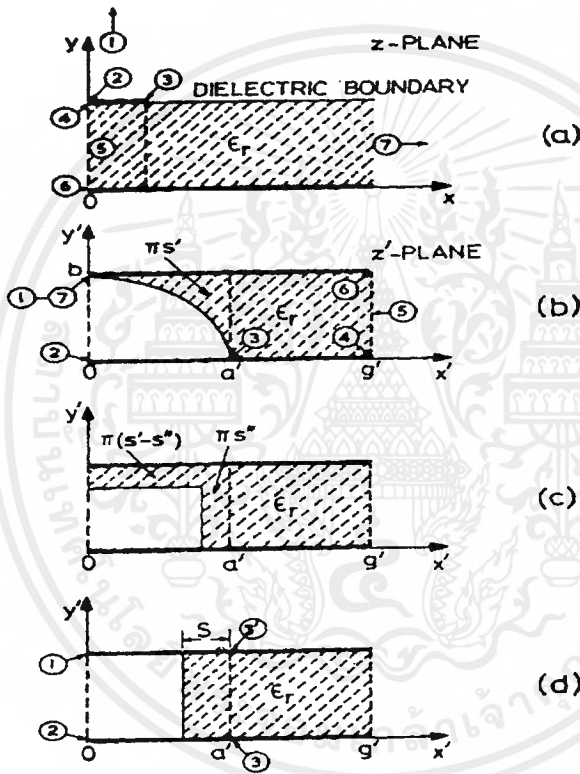
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $d = 1 + \sqrt{1 + c^2}$ และ c หาได้จาก

$$\frac{\pi W}{2h} = c - \sinh^{-1} c \quad (36)$$

สำหรับสตริปแคบ

$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{\ln(\pi/2) + (1/\epsilon_r)\ln(4/\pi)}{\ln(8h/W)} \quad (37)$$



รูปที่ 2.11 การแปลงและการหาค่าคงที่ประสิทธิผล ไดอิเล็กทริก

อิมพีแดนซ์ของไมโครสตริปไลน์สามารถเขียนได้ทั้งกรณี การวิเคราะห์ (Z_{om} ในเทอมของ W/h และ ϵ_r) และการสังเคราะห์ (W/h ในเทอมของ Z_{om} และ ϵ_r) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

สำหรับสตริปกว้าง ($W/h > 2$)

$$Z_{om} = \frac{377}{(\epsilon_r)^{1/2}} \left[\frac{W}{h} + 0.883 + \frac{\epsilon_r + 1}{\pi \epsilon_r} \left\{ \ln \left(\frac{W}{2h} + 0.94 \right) + 1.451 \right\} + 0.165 \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r^2} \right]^{-1} \quad (38)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสตริปแคบ ($W/h < 2$)

$$Z_{om} = \frac{377}{2\pi\{(\epsilon_r + 1)/2\}^{1/2}} \left[\ln\left(\frac{8h}{W}\right) + \frac{1}{8}\left(\frac{W}{2h}\right)^2 - \frac{1}{2} \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ \ln\frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln\frac{4}{\pi} \right\} \right] \quad (39)$$

เมื่อ W เป็นความกว้างสตริป และ h เป็นของฐานรอง

แสดงการหาความกว้างสตริป สำหรับค่าอิมพีแดนซ์ที่ต้องการเขียนได้ดังนี้

สำหรับสตริปกว้าง ($W/h > 2$)

$$\begin{aligned} \frac{W}{2h} \pi = & \frac{377\pi}{2(\epsilon_r)^{1/2} Z_{om}} - 1 - \ln\left\{ \frac{377\pi}{(\epsilon_r)^{1/2} Z_{om}} - 1 \right\} \\ & + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln\left\{ \frac{377\pi}{2(\epsilon_r)^{1/2} Z_{om}} - 1 \right\} + 0.2293 - \frac{0.517}{\epsilon_r} \right] \end{aligned} \quad (40)$$

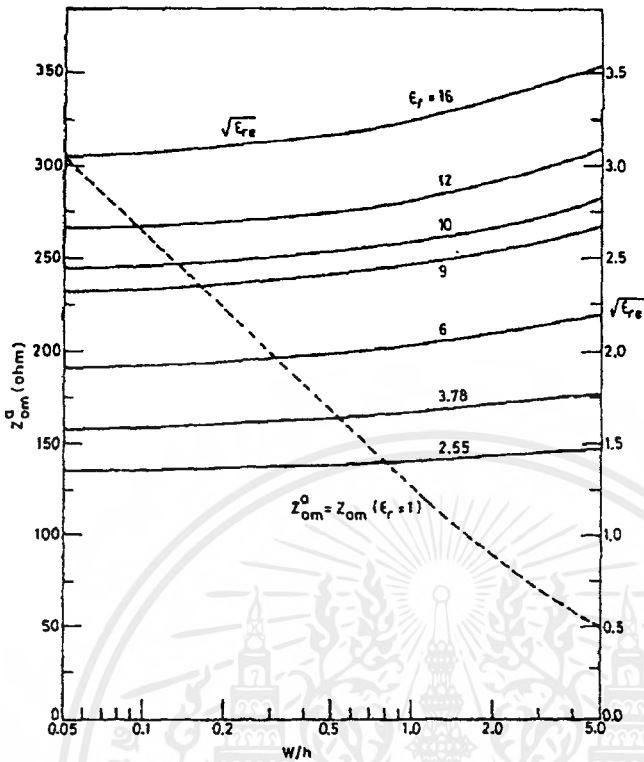
สำหรับสตริปแคบ ($W/h < 2$)

$$2h/W = \frac{1}{4} e^{h'} - \frac{1}{2} e^{-h'} \quad (41)$$

เมื่อ

$$h' = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{1/2} \frac{Z_{om}}{60} + \frac{\epsilon_r + 1}{\epsilon_r - 1} \left(0.226 + \frac{0.120}{\epsilon_r} \right) \quad (42)$$

ค่าของอิมพีแดนซ์คุณลักษณะ และประสิทธิภาพค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของไมโครสตริป ยังอาจสามารถหาได้จากรูปที่ 2.12 ซึ่งในรูปแบบนี้ค่าของ $\sqrt{\epsilon_{re}}$ เป็นการพล็อตในฟังก์ชันของ W/h โดยเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ϵ_r และการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์คุณลักษณะสำหรับไมโครสตริปอากาศ (Z_{om}^a สำหรับ $\epsilon_r = 1$) ซึ่งแสดงด้วยจุดเคิร์ฟ อิมพีแดนซ์สำหรับบางค่าของ ϵ_r หาได้ด้วยแกน Z_{om}^a ตามค่าของ $\sqrt{\epsilon_{re}}$ มันอาจดูจากรูปที่ 2.12 ค่าอิมพีแดนซ์ลดลงเมื่อ อัตราส่วนความกว้างกับความสูง (W/h) เพิ่มขึ้นเพราะการเพิ่มของ W (หรือการลด h) จะเป็นการเพิ่มเส้นคาปาซิแตนซ์



รูปที่ 2.12 อิมพีแดนซ์คุณลักษณะและค่าคงที่ประสิทธิภาพโคอีเล็กทริกของไมโครสตริป

แต่ความยาวคลื่น (wavelength) ในไมโครสตริป λ_m จะสัมพันธ์กับ ϵ_{re} ดังสมการ

$$\lambda_m = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \quad (43)$$

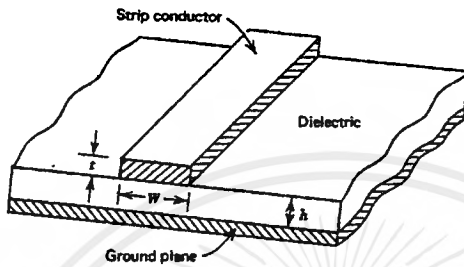
เราทราบจากรูปที่ 2.12 ว่า λ_m เป็นฟังก์ชันของ w/h และ Z_{om}^a ดังนั้นตัวอย่างเช่นถ้า ความยาว สำหรับส่วน คลเวเตอร์เวฟที่อิมพีแดนซ์ 25 Ω จะต่างจากส่วนที่อิมพีแดนซ์ 100 Ω ที่ความถี่เดียวกัน

ไมโครสตริป ชนิดสายส่งระนาบ (planar transmission line) ประกอบด้วย แผ่นตัวนำ (strip conductor) เต็ม ๆ แยกจากระนาบกราว (ground plane) โดยวัสดุที่เป็น ไดอิเล็กทริก

ไมโครสตริปชนิด geometry แสดงในรูปที่ 2.13 เป็นชนิดที่เป็นพื้นฐานของสตริปไลน์ (มีสองระนาบกราว และหนึ่ง แผ่นตัวนำอยู่ตรงกลาง) แต่สิ่งที่สำคัญ คือ การแพร่คลื่นและสนามที่ปกคลุมอยู่ การแพร่เป็นปัจจัยสำคัญโดย TEM โหมด ซึ่งต่างจาก TEM arise เพราะว่าคุณสมบัติของ ไดอิเล็กทริกของวัสดุที่อยู่ระหว่าง แผ่นตัวนำ และระนาบกราว (groundplane)

พื้นฐานบนการขยายการวิจัยและการทดลองข้อมูลค่าคาแรมเตอร์สติกอิมพีแดนซ์ (characteristic impedance) ของไมโครสตริปที่ไม่มีอะไรหุ้ม และความหนาของแผ่นตัวนำ (strip conductor) เป็นศูนย์มีค่าเป็น

$$Z_0 = \frac{377}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{h}{W} \frac{1}{1 + 1.735 \epsilon_r^{-0.724} (W/h)^{-0.836}} \quad (44)$$



รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างแผ่นตัวนำ geometry

เมื่อ W เป็นความกว้างของแผ่นตัวนำส่วน h และ ϵ_r เป็นความหนาและไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ (relative dielectric constant) ของไดอิเล็กทริกชั้นล่าง การจัดให้ฉนวนไดอิเล็กทริกเป็นโครงสร้างที่จำเป็นของไมโครสตริป แต่ถ้าแผ่นตัวนำ (strip conductor) มีความหนาไม่ใช่ศูนย์ คือ t ความกว้าง W ใน (44) จะต้องแทนด้วยผลของความกว้าง (effective) หาได้โดย

$$W_{eff} = W + \frac{t}{\pi} \left(\ln \frac{2h}{t} + 1 \right) \quad (45)$$

ความยาวคลื่น λ_m สำหรับสายส่งไมโครสตริป (microstrip line) ต่างจากความยาวคลื่น λ_{TEM} สำหรับ TEM โหมด เพราะว่าชนิดของการสร้างและความยาวคลื่น TEM ต่างจากความยาวคลื่นที่สูญญากาศ (free-space) λ_0 เพราะว่าค่าไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ (relative dielectric constant) ของฉนวนโดยจะมีความสัมพันธ์สำหรับที่ความหนาของแผ่นตัวนำ (strip conductor) เป็นศูนย์ ดังนี้

$$\frac{\lambda_m}{\lambda_{TEM}} = \left[\frac{\epsilon_r}{1 + 0.63(\epsilon_r - 1)(w/h)^{0.1255}} \right]^{1/2}; \quad \text{สำหรับ } \frac{w}{h} > 0.6 \quad (46)$$

$$= \left[\frac{\epsilon_r}{1 + 0.6(\epsilon_r - 1)(w/h)^{0.0297}} \right]^{1/2}; \quad \text{สำหรับ } \frac{w}{h} > 0.6 \quad (47)$$

$$\lambda_{TEM} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (48)$$

เมื่อ λ_0 เป็นความยาวคลื่นที่สูญญากาศ (free-space) ผลของความกว้าง w_{eff} ต้องใช้สำหรับแผ่นตัวนำ (strip conductor) ที่ความหนาไม่เท่ากับศูนย์ สร้างไว้บนเซรามิคฐานจะเป็นอลูมินา (alumina) (Al_2O_3) มี $\epsilon_r = 9.9$ และ $h = 25$ mils และ แผ่นตัวนำเป็นทองซึ่งถูกทำให้บางมาก ๆ เป็นเหตุของค่าสูญเสียตัวนำซึ่งจะมีค่าน้อยถ้ามีไดอิเล็กทริกทั้งเซรามิคและ Teflon - fiberglass ไดอิเล็กทริกจะมีการสูญเสียต่ำ

2.4 การแมทชิงแบบสายเดี่ยว (SINGLE-LINE MATCHING)

คุณสมบัติการเปลี่ยนอิมิตแดนซ์ของสายส่งทำให้มันมีประโยชน์เหมือน วงจรแมทชิง (matching network) ถ้าอิมิตแดนซ์ที่ปลายมีความสัมพันธ์ที่แน่นอนของซิงเกิลไลน์ (single line) กับคาเรคเตอร์ิสติกอิมิตแดนซ์ (characteristic impedence) แต่ไม่มีสตีบ สามารถใช้ได้เมื่อสายมีการสูญเสียต่ำปลายต่อกับ $Y = G + jB$ อินพุทแอดมิตแดนซ์เป็น

$$Y_{in} = G_{in} + jB_{in} = Y_0 \frac{Y_0 \int Y_0 \tan \theta}{Y_0 + jY \tan \theta} \quad (49)$$

เมื่อ $Y_0 =$ รีซีพโรคัล (reciprocal) ของ Z_0

$\theta =$ ความยาวไฟฟ้าของสาย

ซิงเกิลไลน์ที่ต้องเปลี่ยนให้ค่า Y ใช้ค่า อินพุทแอดมิตแดนซ์ Y_{in} ที่ต้องการแต่ทราบปริมาณที่สามารถจะแมทชิงจาก (49) Y_0 และ θ สมการส่วนค่าจริง ของทั้งสองข้างของ (49) จัดใหม่จะได้

$$\tan \theta = Y_0 \frac{G_{in} - G}{G_{in}B + GB_{in}} \quad (50)$$

สมการส่วนจินตภาพของทั้งสองข้างของ (49) แทนใน (50) และแก้สมการหาได้ ดังนี้

$$Y_0 = \left\{ GG_{in} \left[1 + \frac{B_{in}^2 - B_{Gin}^2}{GG_{in}(G_{in} - G)} \right] \right\}^{1/2} \quad (51)$$

แต่ Y_0 ต้องเป็นจำนวนจริงสำหรับสายส่งความสูญเสียต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1 + \frac{B_{inG}^2 - B^2 G_{in}}{GG_{in}(G_{in} - G)} \rightarrow 0 \quad (52)$$

สมการความไม่เท่ากับ (35) แสดงเงื่อนไขที่ต้องถูกต้องสำหรับซิงเกิลไลน์ (Single-line) สามารถจะเมทซิ่ง ดังเกิดถ้า $B = B_{in} = 0$ เงื่อนไขการเมทซิ่งจะถูกต้องและ familiar quarter-WAVE tranformer จะได้จาก (50) และ (51) สมการความไม่เท่ากัน (52) จะถูกต้องถ้าข้างซ้ายเป็นค่าน้อยสุดถึงค่ามากที่สุดของตัวเลขที่เป็นบวก เมื่อใช้ใน (51) ค่าที่ปลายสุดจะเป็นค่าที่น้อยสุดหรือมากที่สุดของ Y_0 ฉะนั้น Z_0 จะต้องอยู่ตำแหน่งใด ๆ ระหว่างโกลด์อินพีนิตี้ถึงโกลด์ศูนย์ แต่สายส่งไม่สามารถทำให้เกิดได้หลาย ๆ ค่า สำหรับคาแรมคเตอร์สติค (characteristic impedance) ระหว่างอินพีนิตี้และศูนย์ สำหรับไมโครสตริปค่าสูงสุดของคาแรมคเตอร์สติค (characteristic impedance) Z_{max} จะถูกกำหนดขอบเขตโดยความแคบของสตริปและความสูงเท่าไรสำหรับคาร์ซีสแตนซ์ของสตริปแคบๆ ที่สามารถเป็นได้ และยังคงพิจารณาที่สายส่งสูญเสียต่ำของค่าต่ำสุด Z_{min} ถูกกำหนดโดยช่องว่างที่มีอยู่สำหรับความกว้างของสตริปนั้นทำให้เกิด highed-order mode ที่สูงกว่า TEM เมื่อความกว้างสตริปเข้าใกล้ควอเตอร์เวฟ (quarter waveleagth) นั่นคือ $Y_0 = \frac{1}{Z_0}, Y_{min} = \frac{1}{Z_{max}}$ และ $Y_{max} = \frac{1}{Z_{min}}$

$$Y_{min} \leq Y_0 \leq Y_{max} \quad (53)$$

การกำหนดสมการความไม่เท่ากับ (53) และเงื่อนไขการเมทซิ่งใน (52) สามารถแทนโดยวงกลมบนสมิธชาร์ตโดยใช้

$$U + jv = \frac{Y - G_{in}}{Y + G_{in}} = \frac{g - 1 + jb}{g + 1 + jb} \quad (54)$$

เมื่อออร์มอลไลซ์โพลคแอดมิตแตนซ์ เป็น

$$Y = \frac{Y}{G_{in}} = \frac{G + jB}{G_{in}} = \frac{G}{G_{in}} + j \frac{B}{G_{in}} = g + jb \quad (55)$$

ดังนั้น ออร์มอลไลซ์อินพุทแอดมิตแตนซ์ เป็น

$$Y_{in} = \frac{Y_{in}}{G_{in}} = \frac{G_{in} + jB_{in}}{G_{in}} = 1 + j\frac{B_{in}}{G_{in}} = 1 + jb_{in} \quad (56)$$

หารทั้งสองตัวตั้งและตัวหารของ (52) โดย G_{in}^3 แสดงเงื่อนไขการแมทชิ่งในรูปของนอร์มอลไลซ์

$$1 + \frac{b_{ing}^2 - b^2}{g(1-g)} > 0 \quad (57)$$

นอร์มอลไลซ์ (53) เทียบกับ G_{in} ซึ่ง $Y_{min} = Y_{min}/G_{in}$

$$Y_{max} = \frac{T_{max}}{G_{in}} \quad \text{และ} \quad Y_0 = \frac{Y_0}{G_{in}} \quad \text{ผลก็คือ}$$

$$Y_{min} \leq Y_0 \leq \max \quad (58)$$

ดังนั้น (51)

$$Y_0 = \left\{ g \left[1 + \frac{b_{ing}^2 - b^2}{g(1-g)} \right] \right\}^{1/2} \quad (59)$$

จะมีการพิจารณา 2 กรณี ขึ้นอยู่กับว่า $Y < 1$ หรือ $g < 1$ ใน (40) ทั้ง 2 กรณี Y_0 เป็นปัจจัยสำคัญถูกกำหนดไว้ด้วย 2 ขอบเขตใน (41)

กรณีที่ 1 $g < 1$ เงื่อนไข $Y_0 \geq Y_{min}$ จะถูกต้องถ้า $Y = g + jb$ ตกลงข้างในวงกลม Y_{min} ซึ่งกำหนดโดย

$$\left[U - \frac{Y_{min}^2 - 1}{2(1 + Y_{min}^2) + b_{in}^2} \right]^2 + V^2 \leq \left(\left\{ (1 + b_{in}^2) + Y_{min}^2 [Y_{min}^2 + 2(b_{in}^2 - 1)] \right\}^{1/2} \right)^2 \quad (60)$$

ส่วนเงื่อนไข $Y_0 \leq Y_{max}$ จะถูกต้องถ้า $Y = g + jb$ ตกลงข้างนอกวงกลม Y_{max} ซึ่งกำหนดโดย

$$\left[U - \frac{Y_{max}^2 - 1}{2(1 + Y_{max}^2) + b_{in}^2} \right]^2 + V^2 \geq \left(\frac{\left\{ (1 + b_{in}^2) + Y_{max}^2 [Y_{max}^2 + 2(b_{in}^2 - 1)] \right\}^{1/2}}{2(1 + Y_{max}^2) + b_{in}^2} \right)^2 \quad (61)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง (60) และ (61) จะต้องถูกต้องเมื่อ $g < 1$ แน่แน่นอนว่า $g < 1$ จะอยู่ข้างนอกวงกลม $g = 1$

กรณีที่ $2g > 1$ เงื่อนไข $Y_0 \geq Y_{\min}$ จะถูกต้องถ้า $Y = g + jb$ ตกลงข้างนอกวงกลม Y_{\min} ซึ่งกำหนดโดย

$$\left[U - \frac{Y_{\max}^2 - 1}{2(1 + Y_{\max}^2) + b_{in}^2} \right]^2 + V^2 \leq \left(\frac{\left\{ (1 + b_{in}^2) + Y_{\max}^2 [Y_{\max}^2 + 2(b_{in}^2 - 1)] \right\}^{1/2}}{2(1 + Y_{\max}^2) + b_{in}^2} \right)^2 \quad (62)$$

ประโยชน์ของการสร้างวงกลมเมทซิ่งได้มากกว่าการใช้ (60) โดยตรงในกรณีใดกรณีหนึ่งที่เกิดขึ้น เมื่อจุดของ Y ไม่ตกลงข้างในหรือข้างนอกของวงกลมที่เหมาะสมกับกรณีจุดที่สร้างจะแสดงให้เห็นชัดเจนของระดับที่ค่อนข้างยากกับ Y เพื่อย้ายจุดไปเป็นบนหรือนอกวงกลมที่เหมาะสม เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมของ g และ b (ที่รวมทั้ง stub) ก็จะเป็นจุดที่ใช้ได้ตามเงื่อนไข (61) เพื่อหา Y_0 นั่นคือ $Y_0 = Y_0 G_{in}$ และ $Z_0 = \frac{1}{Y_0}$

ความยาวไฟฟ้า (electrical length) หาได้จาก (50) หลังจากทำเป็นนอร์มอลไลซ์ได้ดังนี้

$$\theta = \tan^{-1} \frac{Y_0(1-g)}{b + g_{bin}} \text{ deg} \quad (63)$$

ควรระวังด้วยโดยการแยกหาส่วนตัวตั้งและตัวหารจะทำให้ได้ตำแหน่งของ θ ในควอดแรนต์ที่ต้องการ เมื่อหาอินเวิร์สแทนเจน (inverse tangent) จะใช้มุมที่เป็นบวกสำหรับมุมระหว่าง 180° และ 360° จะลบออกด้วย 180° จะได้มุมที่เป็นพื้นฐาน เพราะอิมิตแดนซ์ซ้ำทุกครั้งของความยาวคลื่นบนสายส่งสูญเสียต่ำ ความยาวทางกายภาพของสายในหน่วยเดียวกับความยาวคลื่นเป็น

$$d = \frac{\theta}{360} \lambda_m \quad (64)$$

เมื่อ λ_m = ความยาวคลื่น (wavelength) บนสาย

บทที่ 3

สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์

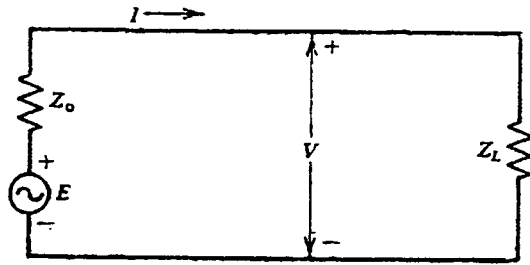
SCATTERING PARAMETERS

สเกตเตอร์ริงเป็นเหตุอันหนึ่งของกาการเกิดการแยกในส่วนประกอบที่ต่างกันและ สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์เราหาจากการวัดระดับของการแยกและขนาดของส่วนประกอบที่แยกออกไปในขณะนั้น ยังคงมีอยู่อย่างเช่นเมื่อแสงตกกระทบลงบนอะตอม อิเล็กตรอนจะเปลี่ยนแปลง นั่นคือแสงจะเกิดการกระจัดกระจาย และการกระจัดกระจายนี้ เรียกว่า สเกตเตอร์ริง ไลท์หรือการกระเจิงของแสง ซึ่งแอมพลิจูดของมันจะสัมพันธ์กับ ค่าคงที่ของการสเกตเตอร์ริง (Scattering constant) ของอะตอม และมันจะเกิดเป็นความหนาแน่นของการกระเจิงของแสงจากส่วนกลับของกำลัง 4 ของความยาวคลื่น และนี่เป็นการอธิบายว่าทำไมทองฟ้าจึงเป็นสีน้ำเงิน มากกว่าจะเป็นสีแดง เพราะค่า $\frac{1}{X^4}$ มีค่าประมาณ 10 ซึ่งเป็นค่าของสีน้ำเงิน นอกจากนั้น สีน้ำเงินที่พบบนตัวสัตว์ต่าง ๆ และนก มักเกิดจากการกระเจิงของแสงสะท้อนมากกว่าจากธาตุที่ทำให้เกิดสีในตัวของมัน และในทำนองเดียวกันสีเขียวที่พบบนปลาหรือสัตว์เลื้อยคลาน เป็นเหตุมาจาก แสงสีน้ำเงินที่กระเจิงออกมาผ่านชั้นของธาตุสีเหลือง

แนวคิดของการกระเจิงเป็นสิ่งที่ยากแก่การมองเห็น เมื่อส่วนประกอบการตกกระทบและการสะท้อนไม่ได้คงอยู่ในขณะนั้น เช่นในกรณีของทรานซิสเตอร์ต่อกับโหลดผ่านส่วนของวงจรมหาซึ่งที่นี้ จำเป็นต้องกำหนดอะไรที่เป็นความหมายของการตกกระทบและการสะท้อนเพราะกรณีนี้ไม่เหมือนกับกรณีอื่น นั่นคือ กระแสตกกระทบกำหนดให้เป็นกระแสซึ่งทรานซิสเตอร์จะส่งไปที่คอนจูเกตแมทซ์ โหลด ซึ่งความจริงแล้ววงจรมหาซึ่งซึ่งต่อกับทรานซิสเตอร์ขณะนี้อาจไม่จำเป็นต้องจัดให้ คอนจูเกตแมทซ์ ไม่ต้องเปลี่ยนให้ถูกต้องตามกระแสตกกระทบที่กำหนด แต่ว่ากระแสตกกระทบสามารถที่จะต่างจากกระแสในขณะนั้นที่ส่งไป วงจรมหาซึ่งกระแสที่แตกต่างกัน กำหนดให้เป็นกระแสสะท้อน และสร้างข้อกำหนดสำหรับแรงดันตกกระทบและสะท้อนด้วย

3.1 วงจร 1 พอร์ต (ONE – PORT NETWORK)

แนวคิดของการกระเจิงมีตัวอย่างที่ดีโดยพิจารณาวงจร 1 พอร์ต (one-port network) ในรูปที่ 3.1 กระแสในขณะนั้น และแรงดัน เป็น



รูปที่ 3.1 แสดงวงจร 1 คู่สาย

$$I = \frac{E}{Z_0 + Z_L} \quad (1)$$

และ

$$V = \frac{EZ_L}{Z_0 + Z_L} \quad (2)$$

โดย Z_0 เป็น อิมพีแดนซ์ภายในแหล่งจ่ายส่วนประกอบที่ตกกระทบจะได้เมื่อแหล่งจ่ายต่อกับโหลด คอนจูเกตแมทซ์ Z_0^* เหมือน

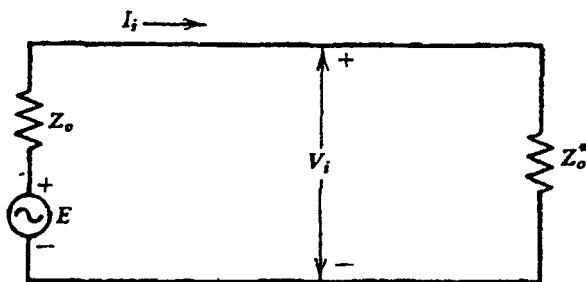
ในรูปที่ 3.2

$$I_i = \frac{E}{Z_0 + Z_0^*} = \frac{E}{2\text{Re}Z_0} \quad (3)$$

และ

$$V_i = \frac{EZ_0^*}{Z_0 + Z_0^*} = \frac{EZ_0^*}{2\text{Re}Z_0} \quad (4)$$

เมื่อ Re แทนค่าส่วนที่เป็นจำนวนจริง



รูปที่ 3.2 วงจรแสดงกระแส และแรงดันตกกระทบ เมื่อแหล่งจ่ายแมทซ์กับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบที่สะท้อน คำนวณโดยใช้ สมการ

$$I = I_i - I_r \quad (5)$$

และ

$$V = V_i + V_r \quad (6)$$

ใช้ (1) และ (3) แทนใน (5) หากกระแสดสะท้อน

$$\begin{aligned} I_r &= I_i - I \\ &= \left(\frac{Z_L - Z_0^*}{Z_L + Z_0} \right) I_i \\ &= S^I I_i \end{aligned} \quad (7)$$

เมื่อ $S^I = \left(\frac{Z_L - Z_0^*}{Z_L + Z_0} \right)$ เป็น สกเกตเตอร์รีฟลามิเตอร์ของกระแสสำหรับวงจร 1 คู่สาย

ในการทำงานเดียวกันใช้ (2) และ (4) แทนใน (6) หาแรงดันสะท้อน

$$\begin{aligned} V_r &= V - V_i \\ &= \frac{Z_0}{Z_0^*} \left(\frac{Z_L - Z_0^*}{Z_L + Z_0} \right) V_i \\ &= \frac{Z_0}{Z_0^*} S^I V_i = S^V V_i \end{aligned} \quad (8)$$

เมื่อ $S^V = \left(\frac{Z_0}{Z_0^*} \right) S^I$ เป็นสกเกตเตอร์รีฟลามิเตอร์ของแรงดันสำหรับวงจร 1 คู่สาย

$$\text{แต่} \quad V_i = Z_0^* I_i \quad (9a)$$

$$\text{และ} \quad V_r = Z_0 I_r \quad (9b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของการตกกระทบและสะท้อนสัมพันธ์กับ อิมพีแดนซ์ และ สกเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ เหมือนกับที่กำหนด สกเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์และส่วนประกอบของการสะท้อนจะเป็น 0 เมื่อ $Z_L = Z_0^*$

การอธิบายบางสิ่งเพิ่มเติมเกี่ยวกับอิมพีแดนซ์ Z_0 เป็นสิ่งที่จำเป็น เพราะอิมพีแดนซ์มักจะถูกทำให้เป็นความต้านทานบริสุทธิ์ (pure resistance) $Z_0 = R_0$ เมื่อ $R_0 > 0$ และมันจะใช้เหมือนเป็นความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) ที่ความถี่สูง โดยปกติระหว่างจุดต่อของสายส่งมีค่า 50Ω นั่นคือจะพิจารณาว่าความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) เท่ากับ 50Ω โดยเฉพาะการวัดสกเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ใช้ทำเป็น 50Ω ของสายที่จุดต่อ

ถ้า $Z_0 = R_0$ และ $Z_0^* = R_0$ นั่นคือ

$$S^I = S^V = \frac{Z_L - R_0}{Z_L + R_0} \quad (10)$$

สำหรับกรณีนี้สกเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ของกระแสและแรงดันของวงจร 1 คู่สายจะเท่ากันและถูกต้องเหมือนกับที่ได้จากสัมประสิทธิ์การสะท้อนของสายส่งที่มีค่าเรคเตอร์สติกกริซสแดนซ์ (Characteristic Resistance) R_0 และกับโหลด Z_L สกเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ของพอร์ดจะเท่ากับศูนย์ ถ้า Z_L มีค่าเท่ากับ R_0 ฉะนั้น ในกรณีนี้ (9a) และ (9b) จะกลายเป็น

$$V_i = R_0 I_i \quad (11a)$$

และ $V_r = R_0 I_r \quad (11b)$

3.2 วงจรหลายคู่สาย (n-PORT NETWORK)

สกเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์สำหรับ วงจรหลายคู่สาย (n-port network) แสดงในรูปที่ 3.3 เป็นการพิจารณาโดยเขียนเป็นแมทริกซ์เป็นการสมมติแหล่งจ่ายแต่ละตัวให้เป็นอิสระกัน นี่หมายความว่า แมทริกซ์ $[Z_0]$ แทนแมทริกซ์ของอิมพีแดนซ์ภายในที่บรรจุบนเส้นทะแยงมุมและไม่มีเทอมข้างเส้นทะแยงมุม

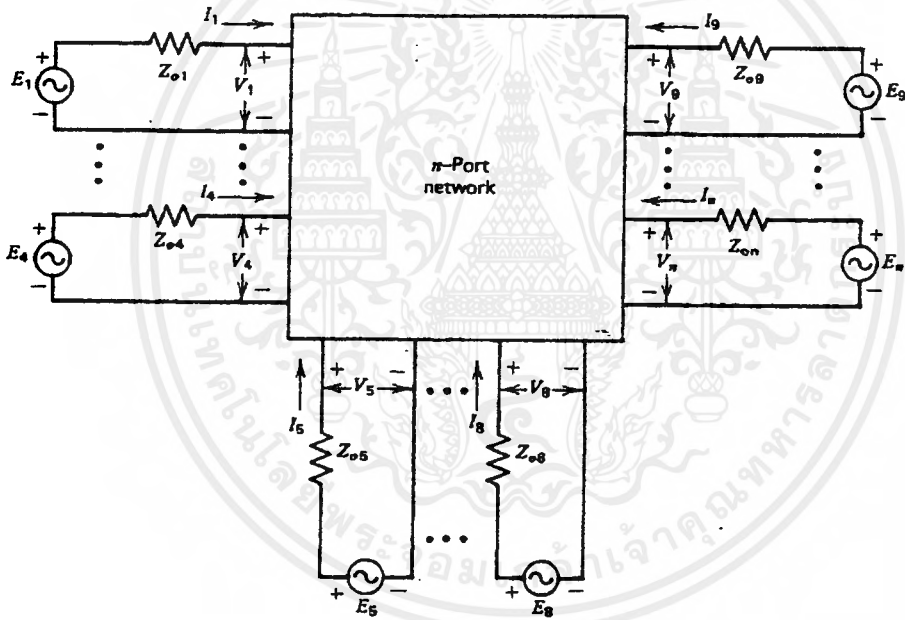
$$[Z_0] = \begin{bmatrix} Z_{01} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & Z_{02} & & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & Z_{0n} \end{bmatrix} \quad (12)$$

ส่วนประกอบที่ตกกระทบ และสะท้อนที่พอร์ตจะสัมพันธ์กับแรงดันและกระแสขณะนั้น

$$[I] = [I_i] - [I_r] \quad (13a)$$

และ

$$[V] = [V_i] + [V_r] \quad (13b)$$



รูปที่ 3.3 แสดง วงจรหลายคู่สายกับ แหล่งจ่ายแรงดัน

ส่วนประกอบตกกระทบและสะท้อนสัมพันธ์ ดังนี้

$$[V_i] = [Z_0^*] [I_i] \quad (14a)$$

และ

$$[V_r] = [Z_0] [I_r] \quad (14b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับกรณี วงจร 1 คู่สาย

ความสัมพันธ์ของ อิมพีแดนซ์พารามิเตอร์เมื่อเปิดวงจรสำหรับ วงจรหลายคู่สายเป็น

$$[V] = [Z][I] \quad (15)$$

ส่วนประกอบที่ตกกระทบและสะท้อนสามารถหาได้จาก (12) – (15) ดังนี้

$$[V_r] = [V] - [V_i] = [Z][I] - [Z_0^*][I_i]$$

หรือ

$$[Z_0][I_r] = [Z][I_i] - [I_r] - [Z_0^*][I_i]$$

รวมเทอมจะได้

$$([Z] + [Z_0])I_r = ([Z] - [Z_0^*])I_i$$

ย้ายด้านซ้ายมาด้านขวา

$$\begin{aligned} [I_r] &= ([Z] + [Z_0])^{-1}([Z] - [Z_0^*])I_i \\ &= [S^I] I_i \end{aligned} \quad (16)$$

เมื่อ

$$[S^I] = ([Z] + [Z_0])^{-1}([Z] - [Z_0^*]) \quad (16a)$$

เป็นแมทริกซ์สเกลเตอร์รีฟารามิเตอร์ของกระแสซึ่งเปรียบเทียบกับกรณี วงจร 1 คู่สายใน (7)

ในทำนองเดียวกันใช้เป็นแอดมิแดนซ์พารามิเตอร์เมื่อปิดวงจรมีความสัมพันธ์เป็น

$$[I] = [Y][V] \quad (17)$$

หาได้เป็น

$$\begin{aligned} [V_r] &= -([Y_0] + [Y])^{-1}([Y] - [Y_0^*])V_i \\ &= [S^V] V_i \end{aligned} \quad (18)$$

เมื่อ

$$[Y] = [Z]^{-1}, [Y_0] = [Z_0]^{-1}$$

และ

$$[S^V] = -([Y_0] + [Y])^{-1}([Y] - [Y_0^*]) \quad (19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับโครงการนี้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น แมทริกซ์ สเกเตอร์ริงพารามิเตอร์ของแรงดัน

ตัวอย่าง ทรานซิสเตอร์ซึ่งมี อิมพีแดนซ์พารามิเตอร์ เป็น

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_i & Z_r \\ Z_f & Z_o \end{bmatrix}$$

ต่อระหว่างแหล่งจ่ายและโหลดรีซิสแตนซ์ของทั้งคู่เท่ากับ R_0 จงหา แมทริกซ์สเกเตอร์ริง $[S']$

วิธีทำ

จาก (16a)

$$[S'] = ([Z] + [Z_o])^{-1} ([Z] - [Z_o^*])$$

แมทริกซ์ ของ อิมพีแดนซ์ ภายในเป็น

$$[Z_o] = \begin{bmatrix} R_0 & 0 \\ 0 & R_0 \end{bmatrix} = [Z_o^*]$$

นั่นคือ

$$[Z] + [Z_o] = \begin{bmatrix} Z_i + R_0 & Z_r \\ Z_f & Z_o + R_0 \end{bmatrix}$$

แมทริกซ์ $([Z] + [Z_o])^{-1}$ เป็นส่วนกลับของ $([Z] + [Z_o])$ ซึ่งส่วนกลับของแมทริกซ์ หาได้โดยหารด้วยดีเทอร์มิแนนต์ของแมทริกซ์เดิมภายในทรานสโพสของแมทริกซ์ ที่ได้จากการแทนที่แต่ละหน่วยของแมทริกซ์เดิมด้วยโคแฟกเตอร์ของมันดีเทอร์มิแนนต์ของ แมทริกซ์ เดิมเป็น

$$(Z_i + R_0)(Z_o + R_0) - Z_r Z_f$$

แมทริกซ์โคแฟกเตอร์เป็น

$$\begin{bmatrix} Z_o + R_0 & -Z_f \\ -Z_r & Z_i + R_0 \end{bmatrix}$$

ทรานสโพสของ แมทริกซ์

โคแฟกเตอร์ เป็น

$$\begin{bmatrix} Z_0 + R_0 & -Z_r \\ -Z_f & Z_i + R_0 \end{bmatrix}$$

นั่นคือ ส่วนกลับของ แมทริกซ์ เป็น

$$([Z] + [Z_0'])^{-1} = \frac{1}{(Z_i + R_0)(Z_0 + R_0) - Z_r Z_f} \begin{bmatrix} Z_0 + R_0 & -Z_r \\ -Z_f & Z_i + R_0 \end{bmatrix}$$

นำไปสู่ แมทริกซ์ อื่น ๆ ดังนี้

$$([Z] - [Z_0^*]) = \begin{bmatrix} Z_i - R_0 & Z_r \\ Z_f & Z_0 - R_0 \end{bmatrix}$$

ดังนั้น ขั้นตอนสุดท้ายจะได้เป็น

$$\begin{aligned} [S'] &= \frac{1}{(Z_i + R_0)(Z_0 + R_0) - Z_r Z_f} \begin{bmatrix} Z_0 + R_0 & -Z_r \\ -Z_f & Z_i + R_0 \end{bmatrix} \\ & \quad X \begin{bmatrix} Z_i - R_0 & Z_r \\ Z_f & Z_0 - R_0 \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{(Z_i + R_0)(Z_0 + R_0) - Z_r Z_f} \\ & \quad X \begin{bmatrix} (Z_0 + R_0)(Z_i - R_0) - Z_r Z_f & \partial Z_r R_0 \\ \partial Z_f R_0 & (Z_i + R_0)(Z_0 - R_0) - Z_r Z_f \end{bmatrix} \end{aligned}$$

แทนแมทริกซ์สเกเตอร์ริงพารามิเตอร์ของกระแส

3.3 นอร์มอลไลซ์สเกเตอร์ริงพารามิเตอร์ (NORMALIZED SCATTERING PARAMETERS)

$$[a] = \frac{1}{\sqrt{2}} ([Z_0] + [Z_0^*])^{1/2} [I_i]$$

$$= [\operatorname{Re} Z_0]^{1/2} [I_i] \quad (20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงวันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$\begin{aligned}
 [b] &= \frac{1}{\sqrt{2}} ([Z_0] + [Z_0^*])^{1/2} [I_r] \\
 &= [\operatorname{Re} Z_0]^{1/2} [I_r]
 \end{aligned} \tag{21}$$

เมื่อ

$$\frac{1}{\sqrt{2}} ([Z_0] + [Z_0^*])^{1/2} = [\operatorname{Re} Z_0]^{1/2}$$

$$= \begin{bmatrix} \sqrt{R_0 Z_{01}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sqrt{R_0 Z_{02}} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sqrt{R_0 Z_{0n}} \end{bmatrix} \tag{22}$$

ดังนั้น รวม (16) กับ (20) และ (21) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 [\operatorname{Re} Z_0]^{1/2} [b] &= [I_r] = [S'] [I_r] \\
 &= [S'] [\operatorname{Re} Z_0]^{1/2} [a]
 \end{aligned}$$

จัดให้อยู่ในรูปของ $[b]$

$$[b] = [\operatorname{Re} Z_0]^{1/2} [S'] [\operatorname{Re} Z_0]^{-1/2} [a]$$

$$[b] = [S] [a] \tag{23}$$

เมื่อ

$$[\operatorname{Re} Z_0]^{-1/2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ \sqrt{\operatorname{Re} Z_{01}} & 1 & \dots & 0 \\ 0 & \sqrt{\operatorname{Re} Z_{02}} & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & \sqrt{\operatorname{Re} Z_{0n}} \end{bmatrix} \tag{24}$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$[S] = [Re Z_0]^{1/2} [S'] [Re Z_0]^{-1/2} \quad (25)$$

$[S]$ เมทริกซ์ได้เรียกว่า นอร์มอลไลซ์สเกตเตอร์ริงเมทริกซ์และส่วนประกอบภายในเมทริกซ์เรียกว่านอร์มอลไลซ์สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ (normalize scattering parameter) หรือเรียกง่าย ๆ ว่า สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์

สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์สามารถคำนวณโดยใช้ (16a) และ (25) สำหรับ วงจรหลายคู่สาย (n – port network) ข้างต้น (ซึ่งเป็น Z parameter) เมื่อผลที่ได้ขยายออกไปโดยใช้ นอร์มอลไลซ์อิมพีแดนซ์ (normalizing impedance) แทน Z นอร์มอลไลซ์อิมพีแดนซ์นี้ พิจารณาที่อิมพีแดนซ์ภายในแหล่งจ่าย ด้วยเหตุนี้ สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ที่ทำให้เกิดขึ้นไม่ได้มีเพียง วงจรหลายคู่สายเดิมเท่านั้น แต่ยังมีที่เกิดจากนอร์มอลไลซ์อีกด้วย ซึ่งเรียกว่า augmented n – port network เมื่อ

$$[S'] = [Z_0]^{-1} [S'' [Z_0] \quad (26)$$

ถ้าวงจรหลายคู่สายเป็นเมทริกซ์ของแอดมิตแดนซ์ สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ (admittance scattering parameter) สามารถคำนวณได้โดยใช้ (19), (25) และ (26) และมันจะเป็นผลดีถ้ายอมให้ นอร์มอลไลซ์เป็นค่ารีซิสแดนซ์อย่างเดียว ตัวเลขที่เป็นค่าของนอร์มอลไลซ์ หรือความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) ที่กำหนดเป็นพื้นฐานส่วนมาก สำหรับการทดลองวัดค่าของสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์นั้นคือ $[Z_0] = [Z_0^*] = [R_0]$ จึงได้เป็น

$$[S'] = ([Z] + [R_0])^{-1} ([Z] - [R_0]) \quad (27)$$

และ

$$[S] = [R_0]^{1/2} [S'] [R_0]^{-1/2} \quad (28)$$

ขยายจาก (28) ดังนั้น

$$[S] = [S'] \quad (29)$$

ถ้า ความต้านทานเปรียบเทียบทุก พอร์ต เท่ากัน

นอร์ลไลซ์ที่เป็นส่วนประกอบตกกระทบ และสะท้อนสำหรับ augmented three – port network ความสัมพันธ์หาได้จาก (23) ดังนี้

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \quad (30)$$

การเปลี่ยนพารามิเตอร์ใช้เงื่อนไขนี้

$$[Z_0] = [Z_0^*] = \left[\frac{1}{Y_0} \right] = [R_0] \quad (31)$$

ซึ่งรีซิชิตแดนซ์ทั้งหมดเท่ากันได้เป็น

$$[S] = [S'] = [S''] \quad (32)$$

ดังนั้น (16a) เป็น

$$([Z] + [R_0])[S] = [Z] - [R_0] \quad (33)$$

แก้เป็น $[Z]$ จะได้

$$[Z] = [R_0]([I] + [S][I] - [S])^{-1} \quad (34)$$

เมื่อ $[I]$ เป็น แมทริกซ์ ที่มีเส้นทแยงเป็น 1 แต่ $[R_0]$ มีค่าเท่ากับในแนวเส้นทแยงมุม, ดังนั้น (34) เป็น

$$[Z'] = \left[\frac{Z}{R_0} \right] = ([I] + [S][I] - [S])^{-1} \quad (35)$$

เมื่อ $[Z']$ แทนนอร์มอลไลซ์พารามิเตอร์หาได้จากการหารพารามิเตอร์ Z ด้วย R_0 ขยายสมการที่ (35) จะได้ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนจาก S มาเป็น Z' ซึ่งกำหนดไว้ในตารางที่ 3.1

เมื่อใช้ (31) และ (32) แทนกับ (19) จะได้

$$([Y_0] + [y])[S] = -([y] - [Y_0]) \quad (36)$$

แก้เป็น $[y]$ จะได้

$$[y] = [Y_0][I] - [S][I] + [S]^{-1} \quad (37)$$

เมื่อ $[I]$ เป็น เมทริกซ์ มีเส้นทแยงมุมเป็นหนึ่งและ $[Y_0]$ มีค่าเท่ากับตามเส้นทแยงมุม (37) เป็น

$$[y'] = [R_{0,y}] = ([I] - [S])([I] + [S])^{-1} \quad (38)$$

เมื่อ $[y']$ แทน นอร์มอลไลซ์พารามิเตอร์หาได้โดยคุณ พารามิเตอร์ y เดิมโดย R_0 ขยาย (38) จะได้ เป็นความสัมพันธ์ของการเปลี่ยน S เป็น y' แสดงในตารางที่ 3.1 และการเปลี่ยนจาก S เป็น h' ก็ แสดงอยู่ในตารางที่ 3.1 ด้วย

ตารางที่ 3.1 แสดงการแปลงระหว่างสมกตเตอร์ริงพารามิเตอร์กับพารามิเตอร์ ต่างๆ

S Parameters in Terms of Normalized z, y and h Parameters	Normalized z, y and h Parameters In Terms of S Parameters
$S_{11} = \frac{(z'_i - 1)(z'_o + 1) - z'_r z'_f}{(1 + z'_i)(1 + z'_o) - z'_r z'_f}$	$z'_i = \frac{(1 + S_{11})(1 - S_{22}) + (S_{12} S_{21})}{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12} S_{21}}$
$S_{12} = \frac{2z'_r}{(1 + z'_i)(1 + z'_o) - z'_r z'_f}$	$z'_r = \frac{2S_{12}}{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12} S_{21}}$
$S_{21} = \frac{2z'_f}{(1 + z'_i)(1 + z'_o) - z'_r z'_f}$	$z'_f = \frac{2S_{21}}{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12} S_{21}}$
$S_{22} = \frac{(z'_i + 1)(z'_o - 1) - z'_r z'_f}{(1 + z'_i)(1 + z'_o) - z'_r z'_f}$	$z'_o = \frac{(1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{12} S_{21}}{(1 - S_{11})(1 - S_{22}) - S_{12} S_{21}}$
$S_{11} = \frac{(1 + y'_i)(1 + y'_o) + y'_r y'_f}{(1 + y'_i)(1 + y'_o) - y'_r y'_f}$	$y'_i = \frac{(1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{12} S_{21}}{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12} S_{21}}$
$S_{12} = \frac{-2y'_r}{(1 + y'_i)(1 + y'_o) - y'_r y'_f}$	$y'_r = \frac{-2S_{12}}{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12} S_{21}}$
$S_{21} = \frac{-2y'_f}{(1 + y'_i)(1 + y'_o) - y'_r y'_f}$	$y'_f = \frac{-2S_{21}}{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12} S_{21}}$
$S_{22} = \frac{(1 + y'_i)(1 - y'_o) + y'_r y'_f}{(1 + y'_i)(1 + y'_o) - y'_r y'_f}$	$y'_o = \frac{(1 + S_{11})(1 - S_{22}) + S_{12} S_{21}}{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12} S_{21}}$
$S_{11} = \frac{(h'_i - 1)(1 + h'_o) - h'_r h'_f}{(1 + h'_i)(1 + h'_o) - h'_r h'_f}$	$h'_i = \frac{(1 + S_{11})(1 + S_{22}) - S_{12} S_{21}}{(1 - S_{11})(1 + S_{22}) + S_{12} S_{21}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

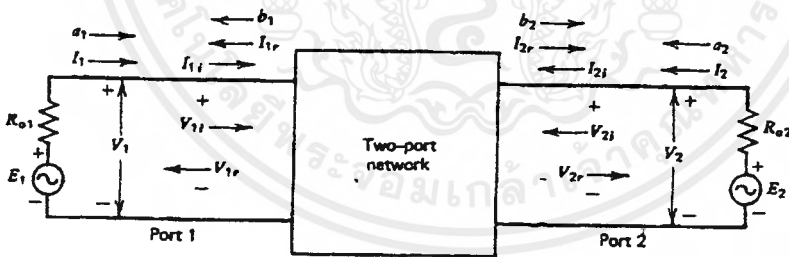
<i>S</i> Parameters in Terms of Normalized <i>z</i> , <i>y</i> and <i>h</i> Parameters	Normalized <i>z</i> , <i>y</i> and <i>h</i> Parameters In Terms of <i>S</i> Parameters
$S_{12} = \frac{2h'_r}{(1+h'_i)(1+h'_o) - h'_r h'_f}$	$h'_r = \frac{2S_{12}}{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12}S_{21}}$
$S_{21} = \frac{-2h'_f}{(1+h'_i)(1+h'_o) - h'_r h'_f}$	$h'_f = \frac{-2S_{21}}{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12}S_{21}}$
$S_{22} = \frac{(1+h'_i)(1-h'_o) + h'_r h'_f}{(1+h'_i)(1+h'_o) - h'_r h'_f}$	$h'_o = \frac{(1-S_{11})(1-S_{22}) - S_{12}S_{21}}{(1-S_{11})(1+S_{22}) + S_{12}S_{21}}$

3.4 การคำนวณสเกลเตอร์ริงพารามิเตอร์ (CALCULATION SCATTERING PARAMETERS)

พิจารณาวงจร 2 คู่สาย (two - port network) โดยความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) R_{o1} และ R_{o2} รูปที่ 3.4 เพื่อความสะดวกกำหนดส่วนประกอบของการตกกระทบสะท้อนและนอร์มัลไลซ์มาให้สเกลเตอร์ริงพารามิเตอร์สามารถหาได้โดยตรงจาก (23) ดีกว่าหาจาก (28)

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (39)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (40)$$



รูปที่ 3.4 แสดงออกม้วนที่วงจร 2 คู่สายโดยความต้านทานเปรียบเทียบ

สเกลเตอร์ริงพารามิเตอร์ที่ได้

$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2 = 0} \quad (41)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \Big|_{a_1=0} \quad (42)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2=0} \quad (43)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \Big|_{a_1=0} \quad (44)$$

จะถูกต้องทำให้ $a_2 = 0$ เมื่อเทียบกับ (20) นั่นก็คือ $I_{2i} = 0$ สองเงื่อนไขที่ต้องทำให้ $I_{2i} = 0$ อันแรกให้ $E_2 = 0$ ซึ่งหมายถึงไม่มีแหล่งจ่ายภายนอกต่อกับพอร์ตที่ 2 เป็นเหตุให้ไม่มีกระแสสะท้อนเงื่อนไขที่ 2 ที่ พอร์ตที่ 2 ต่อกับความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) R_{02} ดังนั้น $V_2 = -R_{02}I_2$ ใช้ (13) และ (14) จะได้เป็น

$$\begin{aligned} V_2 + R_{02}I_2 &= V_{2i} + V_{2r} + R_{02}(I_{2i} - I_{2r}) \\ &= R_{02}I_{2i} + R_{02}I_{2r} + R_{02}I_{2i} - R_{02}I_{2r} \\ &= 2R_{02}I_{2i} \\ &= 2\sqrt{R_{02}}a_2 \end{aligned} \quad (45)$$

$$a_2 = \frac{V_2 + R_{02}I_2}{2\sqrt{R_{02}}} \quad (46)$$

แต่ $V_2 = -R_{02}I_2, a_2 = 0$ และ $I_{2i} = 0$ เหมือนกับที่ต้องการนั่นคือหมายความว่าเครื่องกำเนิด(generator) ที่พอร์ตที่ 1 ไม่มีผลกระทบจากกระแสสะท้อนจาก R_{02} ซึ่งในทางกลับกัน ก็จะมีลักษณะเหมือนกระแสตกกระทบแต่ $I_{2i} = 0$ สังเกตได้ว่า $I_2 = -I_{2r}$

ในการทำงานเดียวกันต้องการให้ $a_1 = 0$ จะถูกต้องเมื่อ $E_1 = 0$ และพอร์ตที่ 1 ต่อกับความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) R_{01} ในกรณีนี้หาได้ดังนี้

$$a_1 = \frac{V_1 + R_{01}I_1}{2\sqrt{R_{01}}} \quad (47)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ารับวงจรหลายคู่สาย (46) และ (47) กลายเป็น

$$[a] = \frac{1}{2} [R_0]^{1/2} ([V] + [R_0] I) \quad (48)$$

ถ้า วงจรหลายคู่สาย ไม่มีเกณฑ์ในการต่อ อิมพีแดนซ์ $[Z']$

$$[a'] = \frac{1}{2} [\text{Re } Z']^{1/2} ([V'] + [Z'] I') \quad (49)$$

เมื่อ (') ใช้เพื่อแสดงให้รู้เป็นค่าจากกรณีเมื่อมีการเปรียบเทียบ ริชิสแดนซ์ ที่ใช้ความสัมพันธ์ที่ให้นำไปสู่ส่วนประกอบของนอร์มอลไลซ์รีเฟล็กได้ปรับปรุงขึ้นโดยใช้ (13) และ(14) ดังนี้

$$\begin{aligned} V_1 - R_{01} I_1 &= V_{1r} + V_{1r} - R_{01} (I_{1r} - I_{1r}) \\ &= R_{01} I_{1r} + R_{01} I_{1r} - R_{01} I_{1r} + R_{01} I_{1r} \\ &= 2R_{01} I_{1r} \\ &= 2\sqrt{R_{01}} b_1 \end{aligned} \quad (50)$$

หรือ

$$b_1 = \frac{V_1 - R_{01} I_1}{2\sqrt{R_{01}}} \quad (51)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$b_2 = \frac{V_2 - R_{02} I_2}{2\sqrt{R_{02}}} \quad (52)$$

ถ้ารับวงจรหลายคู่สาย (51) และ (52) เป็น

$$[b] = \frac{1}{2} [R_0]^{1/2} ([V] - [R_0] I) \quad (53)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าวงจรหลายคู่สายไม่มีเกณฑ์ในการต่ออิมพีแดนซ์ $[Z']$ ดังนั้น

$$[b'] = \frac{1}{2} [\text{Re } Z']^{-1/2} ([V'] - [Z''] [I']) \quad (54)$$

เมื่อ (') ใช้เพื่อแสดงให้รู้เป็นค่าจากกรณีเมื่อมีการเปรียบเทียบ ริชิสแดนซ์ ที่ใช้เมื่อวงจรที่ต้องการมีลักษณะถูกต้อง คือ ทำให้ $a_1 = 0$ หรือ $a_2 = 0$ แล้ว สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์สามารถหาค่าได้โดยใช้ (41) – (44) ดังนี้

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2=0} = \frac{\sqrt{R_{01}} I_{1r}}{\sqrt{R_{01}} I_{1i}} \Big|_{I_{2i}=0} = \frac{I_{1r}}{I_{1i}} \Big|_{I_{2i}=0} = \frac{V_{1r}}{V_{1i}} \Big|_{I_{2i}=0} \quad (55)$$

นอกจากนั้นเหมือนว่าแหล่งจ่ายตัวกับ พอร์ตที่ 1 และโหลดของมันคือ Z_L เป็น อินพุทอิมพีแดนซ์ Z_{11} เมื่อพอร์ตที่ 2 ต่อกับ R_{02} ดังนั้นจาก (7) และ (10) ได้ว่า

$$S_{11} = \frac{Z_{11} - R_{01}}{Z_{11} + R_{01}} \quad (56)$$

นั่นคือสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ S_{11} เป็นเหมือนสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตที่ 1 เมื่อพอร์ตที่ 2 ต่อกับความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) R_{02} ในทำนองเดียวกัน

$$\begin{aligned} S_{22} &= \frac{b_2}{a_2} \Big|_{a_1=0} = \frac{\sqrt{R_{02}} I_{2r}}{\sqrt{R_{02}} I_{2i}} \Big|_{I_{1i}=0} = \frac{V_{2r}}{V_{2i}} \Big|_{I_{1i}=0} \\ &= \frac{Z_{22} - R_{02}}{Z_{22} + R_{02}} \end{aligned} \quad (57)$$

เมื่อ Z_{22} เป็น อินพุทอิมพีแดนซ์ของพอร์ตที่ 2 เมื่อ พอร์ตที่ 1 ต่อกับ ความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) R_{01} ดังนั้น S_{22} สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์แทนสัมประสิทธิ์การสะท้อนภายใต้เงื่อนไขที่ พอร์ตที่ 2

การหาค่า S_{21} มีขั้นตอนเช่นเดียวกันดังนี้

$$\begin{aligned} S_{21} &= \frac{b_2}{a_1} \Big|_{a_2=0} = \frac{\sqrt{R_{02}} I_{2r}}{\sqrt{R_{01}} I_{1i}} \Big|_{I_{2i}=0} = 0 \\ &= \frac{-\sqrt{R_{02}} I_2}{\sqrt{R_{01}} \frac{E_1}{2R_{01}}} = -2\sqrt{R_{01}} \sqrt{R_{02}} \frac{I_2}{E_1} \end{aligned} \quad (58)$$

แต่ $a_2 = 0$ เมื่อ $E_2 = 0$ และ $V_2 = -R_{02} I_2$

ดังนั้น

$$\frac{V_2}{\sqrt{R_{02}}} = -\sqrt{R_{02}} I_2$$

นั่นคือ

$$S_{21} = 2 \sqrt{\frac{R_{01}}{R_{02}}} \frac{V_2}{E_1} = \frac{\sqrt{R_{02}}}{\frac{\frac{1}{2} E_1}{\sqrt{R_{01}}}} \quad (59)$$

สมการ (58) และ (59) แสดง S_{21} แทนสัมประสิทธิ์ของการส่งจาก พอร์ตที่ 1 ถึงพอร์ตที่ 2 มันอาจจะเป็นจำนวนเชิงซ้อน ถ้า V_2 และ E_1 มีเฟสไม่ตรงกันทำโดยวงจร 2 คู่สาย (two-port network) ในทำนองเดียวกัน

$$\begin{aligned} S_{12} &= \frac{b_1}{a_2} \Big|_{a_1=0} = -2\sqrt{R_{01}} \sqrt{R_{02}} \frac{I_1}{E_2} \\ &= \frac{2\sqrt{R_{02}}}{R_{01}} \frac{V_1}{E_2} = \frac{V_1 \sqrt{R_{01}}}{\frac{\frac{1}{2} E_2}{\sqrt{R_{02}}}} \end{aligned} \quad (60)$$

โดยแสดง S_{12} แทนสัมประสิทธิ์การส่งจากพอร์ตที่ 2 ไป พอร์ตที่ 1 สเตเตอร์ริงพารา มิเตอร์สำหรับวงจรหลายคู่สายสามารถหาได้ในลักษณะเดียวกัน พิจารณาตัวอย่างจากสมการอัน หนึ่งใน (30) สำหรับ วงจร 3 คู่สาย (three-port network)

$$b_1 = S_{11} a_1 + S_{12} a_2 + S_{13} a_3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2 = a_3 = 0} \quad (61)$$

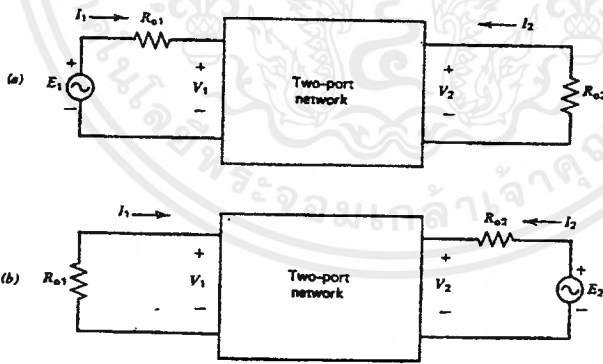
ซึ่งจะได้เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พอร์ตที่ 1 เมื่อ พอร์ตที่ 2 และ 3 ต่อความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) R_{02} และ R_{03} ซึ่ง $E_2 = E_3 = 0$ ดังนั้น

$$S_{13} = \frac{b_1}{a_3} \Big|_{a_1 = a_2 = 0} \quad (62)$$

ซึ่งจะได้เป็นสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนส่งจาก 3 ไป 1 เมื่อ พอร์ตที่ 1 และ 2 ต่อกับความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) R_{01} และ R_{02} ซึ่ง $E_1 = E_2 = 0$

3.5 ความหมายทางกายภาพ (PHYSICAL MEANINGS)

ความเข้าใจในความหมายของส่วนประกอบของนอร์มอลไลซ์ของการตกกระทบและสะท้อนและของสมการรีฟารามิเตอร์อาจหาได้ โดยการพิจารณาอุโมงค์ท่วงจร 2 คู่สาย (augment two-part network) ดังแสดงในรูปที่ 3.5a



รูปที่ 3.5 (a) แสดงวงจร 2 คู่สายที่ใช้ ความต้านทานเปรียบเทียบ R_{o1} และ R_{o2} กับ เครื่องกำเนิด E_1

(b) แสดงวงจร 2 คู่สาย ที่ใช้ ความต้านทานเปรียบเทียบ R_{o1} และ R_{o2} กับ เครื่องกำเนิด E_2

จากสมการ (46) $a_2 = 0$ ซึ่ง $V_2 = -R_{02}I_2$ ใช้ในสมการ (52) เราจะได้

$$b_2 = \frac{V_2 - R_{02}I_2}{2\sqrt{R_{02}}} = \frac{-2R_{02}I_2}{2\sqrt{R_{02}}} = -\sqrt{R_{02}}I_2 \quad (63)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้น

$$|b_2|^2 = R_{02}|I_2|^2 = \text{กำลังของ } P_L \text{ ส่งไปยัง } R_{02}$$

ใช้สมการ (47) กับค่าของ $V_1 = E_1 - R_{01}I_1$ จากรูป 6.6a จะได้ผลเป็น

$$a_1 = \frac{E_1}{2\sqrt{R_{01}}} \text{ หรือ } |a_1|^2 = \frac{|E_1|^2}{4R_{01}} \quad (64)$$

กำลังของ P_A หาได้จากแหล่งจ่าย (Source) กับความต้านทานภายใน (internal Resistance) R_{01} ซึ่งโดยความหมายคือ กำลังตกกระทบหรือกำลังที่แมตซ์กัน

$$\begin{aligned} |a_1|^2 &= \frac{E_1 E_1^*}{4R_{01}} = \frac{1}{4R_{01}} (V_1 + R_{01}I_1)(V_1^* + R_{01}I_1^*) \\ &= \frac{1}{4R_{01}} \left[|V_1|^2 + R_{01}I_1 V_1^* + R_{01}V_1 I_1^* + R_{01}^2 |I_1|^2 \right] \end{aligned} \quad (65)$$

ทำนองเดียวกันสมการที่ (51) จะได้

$$\begin{aligned} |b_1|^2 &= \frac{1}{4R_{01}} (V_1 - R_{01}I_1)(V_1^* - R_{01}I_1^*) \\ &= \frac{1}{4R_{01}} \left[|V_1|^2 - R_{01}I_1 V_1^* - R_{01}I_1^* V_1 + R_{01}^2 |I_1|^2 \right] \end{aligned} \quad (66)$$

จากสมการที่ (66) ลบออกจาก (65) จะได้เป็น

$$\begin{aligned} |a_1|^2 - |b_1|^2 &= \frac{1}{4R_{01}} [2R_{01}I_1 V_1^* + 2R_{01}I_1^* V_1] \\ &= \frac{1}{2} [I_1 V_1^* + I_1^* V_1] = \text{Re } I_1 V_1^* = \text{Re } I_1^* V_1 \end{aligned} \quad (67)$$

กำลัง P_1 ส่งไปยังพอร์ต์ที่ 1

ซึ่ง $|b_1|^2 = |a_1|^2 - P_1 = P_A - P_1 = \text{reflect}$ หรือกำลังจากพอร์ต์ที่ 1 ไม่แมตซ์กัน

ซึ่ง $a_2 = 0$ ในรูปที่ 3.5a

$$|S_{11}|^2 = \frac{|b|^2}{|a_1|^2} \Big|_{a_2=0} = \frac{P_A - P_1}{P_A} \quad (68)$$

หรือ

$$|S_{11}|^2 = \frac{\text{power reflect จาก port1}}{\text{power ที่รับจาก generator}} \quad (69)$$

ด้วยเหตุที่ S_1 แสดงถึงอัตราการสะท้อนที่พอร์ตที่ 1 ถ้า $|S_{11}| > 1$

กำลังสะท้อนจากพอร์ตที่ 1 จะมีขนาดมากกว่ากำลังที่ได้รับจากเครื่องกำเนิด ความหมายนี้ก็คือ ที่พอร์ตที่ 1 จะเป็นแหล่งจ่ายของกำลังคั้งนั้น จากสมการ (58)

$$|S_{21}|^2 = \frac{|I_2|^2 R_{02}}{|E_1|^2 / 4R_{01}} = \frac{P_L}{P_A} = \text{transduce power gain } G_T \quad (70)$$

โดยการต่อเครื่องกำเนิดและความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) ในรูป 3.5b และใช้วิธีการเหมือนกับที่แสดงข้างต้น ซึ่งมันจะได้ $a_1 = 0, |b_1|^2 = \text{power}$ ที่ส่งไปยัง R_{01} จากเครื่องกำเนิดที่พอร์ตที่ 2 (71)

$$|a_2|^2 = \text{power} \text{ ที่รับจากเครื่องกำเนิดที่พอร์ตที่ 2 กับความต้านทานภายใน (internal resistance), } R_{02} \quad (72)$$

$$|b_2|^2 = |a_2|^2 - \text{Re } I_2 V_2^* = |a_2|^2 - \text{Re } I_2^* V_2 = \text{การสะท้อน หรือ กำลังจากพอร์ตที่ 2 ไม่แมทซ์กัน} \quad (73)$$

และ

$$|S_{22}|^2 = \frac{\text{power ที่สะท้อนจาก port2}}{\text{power ที่รับจาก generator ที่ port2}}$$

ด้วยเหตุที่ S_{22} แสดงถึงอัตราการสะท้อนที่พอร์ตที่ 2 ถ้าพอร์ตที่ 2 จะเป็นแหล่งจ่ายของกำลังจาก (60)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$|S_{12}|^2 = \frac{|I_1|^2 R_{01}}{\frac{|E_2|^2}{4R_{02}}} = \text{reverse transducer power gain} \quad (74)$$

เมื่อทำต่อไปเกณฑ์กำลัง (power gain) เป็น

$$\begin{aligned} G_p &= \frac{\text{power } P_L \text{ ส่งไปถึง } R_{o2}}{\text{power } P \text{ ส่งไป port 1}} \\ &= \frac{|b_2|^2}{|a_1|^2 - |b_1|^2} \Big|_{a_2 = 0} \\ &= \frac{|b_2|^2 / |a_1|^2}{1 - |b_1|^2 / |a_1|^2} \Big|_{a_2 = 0} = \frac{|S_{21}|^2}{1 - |S_{11}|^2} \end{aligned} \quad (75)$$

3.6 การวัดสเกลเตอร์ริงพารามิเตอร์ (MEASUREMENT OF SCATTERING PARAMETER)

ความสัมพันธ์พื้นฐานระหว่างส่วนตกกระทบและสะท้อน, ความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) และสเกลเตอร์ริงพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ 2 คู่สายเป็น

$$\begin{aligned} b_1 &= S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \\ b_2 &= S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \end{aligned} \quad (76)$$

$$\begin{aligned} V_{1r} &= R_{01}I_{1r} & V_{1i} &= R_{01}I_{1i} \\ V_{2r} &= R_{02}I_{2r} & V_{2i} &= R_{02}I_{2i} \end{aligned} \quad (77)$$

$$\begin{aligned} b_1 &= \sqrt{R_{01}}I_{1r} & a_1 &= \sqrt{R_{01}}I_{1i} \\ b_2 &= \sqrt{R_{02}}I_{2r} & a_2 &= \sqrt{R_{02}}I_{2i} \end{aligned} \quad (78)$$

แทน (78) ใน (76) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\sqrt{R_{01}}I_{1r} &= S_{11}\sqrt{R_{01}}I_{1i} + S_{12}\sqrt{R_{02}}I_{2i} \\ \sqrt{R_{02}}I_{2r} &= S_{21}\sqrt{R_{02}}I_{1i} + S_{22}\sqrt{R_{02}}I_{2i}\end{aligned}\quad (79)$$

ถ้าความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) ทุกตัวมีค่าเท่ากับเป็น $R_{01} = R_{02} = R_0$ ดังนั้น (79) กลายเป็น

$$\begin{aligned}I_{1r} &= S_{11}I_{1i} + S_{12}I_{2i} \\ I_{2r} &= S_{21}I_{1i} + S_{22}I_{2i}\end{aligned}\quad (80)$$

ฉะนั้น ใช้ (77) แทนใน (80)

$$\begin{aligned}V_{1r} &= S_{11}V_{1i} + S_{12}V_{2i} \\ V_{2r} &= S_{21}V_{1i} + S_{22}V_{2i}\end{aligned}\quad (81)$$

สำหรับกรณีพิเศษที่ $R_{01} = R_{02} = R_0$ นั่นคือ สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์สามารถหาได้โดยตรงจากการวัดค่าแรงดันตกกระทบและสะท้อนใช้ต่อกับ directional couplers ที่มีอยู่ และโวลท์มิเตอร์ – เฟสมิเตอร์ และจากนั้นใช้ (82)

$$\begin{aligned}S_{11} &= \left. \frac{V_{1r}}{V_{1i}} \right|_{V_{2i} = 0} & S_{12} &= \left. \frac{V_{1r}}{V_{2r}} \right|_{V_{1i} = 0} \\ S_{21} &= \left. \frac{V_{2r}}{V_{1i}} \right|_{V_{2i} = 0} & S_{22} &= \left. \frac{V_{2r}}{V_{2i}} \right|_{V_{1i} = 0}\end{aligned}\quad (82)$$

เมื่อทำการวัดเน็ทเวิร์ค ซึ่งสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ที่หาอยู่ในวงจรกรณีนี้ โดยแหล่งจ่ายสัญญาณมีความต้านทานภายในเป็น $R_0 = 50 \Omega$ ต่อสายส่ง 50Ω ไปที่อินพุทพอร์ตผ่านอินพุท directional coupler และทางด้าน เอาท์พุทต่อผ่านสายส่ง 50Ω ไปที่โหลด 50Ω โดยผ่านเอาท์พุท directional coupler สิ่งที่ทำเป็นหลังจากนั้น คือขั้นของการวัดขนาดเริ่มต้น และการเซตไบอัสที่เราจะทำให้เครื่องมือวัดขนาดของส่วนตกกระทบและสะท้อนและมุมเฟสที่ต้องการ เมื่อ $V_{2i} = 0$ ในสภาวะนี้สามารถหา S_{11} และ S_{21} ได้ ใช้ขั้นตอนนี้ซ้ำอีกโดยเปลี่ยนให้ $V_{1i} = 0$ และหาค่า S_{12} และ S_{22}

สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ขึ้นอยู่กับชนิดของเนทเวิร์คหรืออุปกรณ์และเงื่อนไขการทำงาน, อุณหภูมิ และความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ตัวอย่างของค่าสำหรับทรานซิสเตอร์ใด ๆ ที่ความถี่สัญญาณและอุณหภูมิใด ๆ เป็น

$$S_{11} = 0.68 \angle -42^\circ \quad S_{12} = 0.015 \angle -85^\circ$$

$$S_{21} = 4.1 \angle 108^\circ \quad S_{22} = 0.90 \angle -9^\circ$$

ในทำนองเดียวกัน สำหรับอุปกรณ์ 3 คู่สาย (three-port) ที่ใช้ความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) เท่ากันทุกพอร์ต (80) และ (81) กลายเป็น

$$\begin{aligned} I_{1r} &= S_{11}I_{1i} + S_{12}I_{2i} + S_{13}I_{3i} \\ I_{2r} &= S_{21}I_{1i} + S_{22}I_{2i} + S_{23}I_{3i} \\ I_{3r} &= S_{31}I_{1i} + S_{32}I_{2i} + S_{33}I_{3i} \end{aligned} \quad (83)$$

และ

$$\begin{aligned} V_{1r} &= S_{11}V_{1i} + S_{12}V_{2i} + S_{13}V_{3i} \\ V_{2r} &= S_{21}V_{1i} + S_{22}V_{2i} + S_{23}V_{3i} \\ V_{3r} &= S_{31}V_{1i} + S_{32}V_{2i} + S_{33}V_{3i} \end{aligned} \quad (84)$$

ดังนั้น

$$S_{11} = \left. \frac{V_{1r}}{V_{1i}} \right|_{V_{2i} = V_{3i} = 0} \quad S_{12} = \left. \frac{V_{1r}}{V_{2r}} \right|_{V_{1i} = V_{3i} = 0}$$

$$S_{31} = \left. \frac{V_{3r}}{V_{1r}} \right|_{V_{2i} = V_{3i} = 0} \quad S_{33} = \left. \frac{V_{3r}}{V_{3i}} \right|_{V_{1i} = V_{2i} = 0} \quad (85)$$

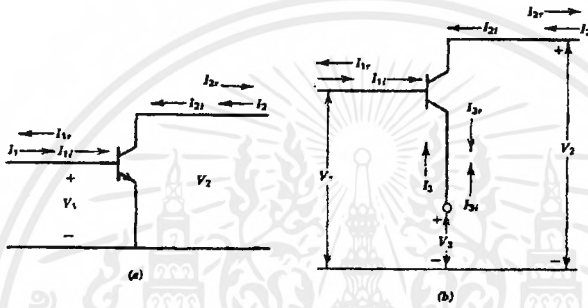
แรงดันตกกระทบที่พอร์ตซึ่งไม่มีเครื่องกำเนิดต่ออยู่จะมีค่าเป็นศูนย์โดยอัตโนมัติ เพราะความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) ที่ใช้ต่ออยู่ที่ปลายสุดท้าย

หลักเกณฑ์ที่สำคัญของการวัดสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ที่จะต้องกล่าวถึงทรานซิสเตอร์สามารถพิจารณาเป็นอุปกรณ์ 2 คู่สาย (two-port) เหมือนแสดงในรูปที่ 3.6a หรือ 3 คู่สายเหมือนแสดงในรูป 3.6b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ S_{11} เป็นการวัดระหว่างขาอิมิตเตอร์กับกราวด์ ของวงจรในรูปที่ 3.6a เทียบกับ ความต้านทาน 50Ω จะมีค่าแตกต่างจากเมื่อวัด S_{11} จากวงจรในรูปที่ 3.6b นี้เพราะว่า อิมิตเตอร์ ไม่ใช่กราวด์ในรูปที่ 3.6b แต่เปรียบเทียบกับความต้านทาน 50Ω ที่ต่ออนุกรมที่ขา อิมิตเตอร์ซึ่งถือว่า S_{12}, S_{21} และ S_{22} สำหรับสองวงจรจะต่างกันเมื่อใช้ส่วนประกอบอื่น ๆ ที่เหมือนกัน

การสร้างตามชนิดที่ให้มาบนค่าดัชนีของอุปกรณ์จะต้องกำหนดความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) ที่ใช้และสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ตามชนิดของอุปกรณ์ที่พิจารณาว่าเป็น 2 คู่สายหรือ 3 คู่สายและต้องพิจารณาเป็นพิเศษถ้าต้องการเปลี่ยนจาก 3 คู่สาย (three-port) มาเป็น 2 คู่สาย (two-port) ของ สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์



รูปที่ 3.6 (a) แสดงทรานซิสเตอร์ที่พิจารณาเป็นอุปกรณ์ 2 คู่สาย
(b) แสดงทรานซิสเตอร์ที่พิจารณาเป็นอุปกรณ์ 3 คู่สาย

3.7 แอคทีวิตีและพาสซีวิตี (ACTIVITY AND PASSIVITY)

จาก (67) กำลังเฉลี่ยที่ส่งมาที่พอร์ตที่ 1 เพื่อใช้ความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) ต่อที่ปลายเป็น

$$P_1 = |a_1|^2 - |b_1|^2 = a_1^* a_1 - b_1^* b_1 \quad (86)$$

ในทำนองเดียวกัน กำลังเฉลี่ยที่ส่งมาที่พอร์ต i ของวงจรหลายคู่สาย (n -port network) เป็น

$$P_i = |a_i|^2 - |b_i|^2 = a_i^* a_i - b_i^* b_i \quad (87)$$

กำลังรวมที่ส่งมาที่ทุกพอร์ต กำหนดให้โดย

$$P = |a^*|^2 |a| - |b^*|^2 |b| \quad (88)$$

เมื่อ $[a]$ และ $[b]$ เป็นแมทริกซ์แทนส่วนตกกระทบและสะท้อนที่ n พอร์ต เมื่อ

$$[b] = [S][a] \quad (89)$$

และ

$$[b^*]^T = ([S^*][a^*])^T = [a^*]^T [S^*]^T \quad (90)$$

แทน (89) และ (90) ใน (88)

$$P = [a^*]^T [a] - [a^*]^T [S^*]^T [S][a] \quad (91)$$

หรือ

$$P = [a^*]^T ([I] - [S^*]^T [S])[a] \quad (92)$$

เมื่อ $[I]$ เป็นมีเส้นทแยงมุมเป็น 1

แมทริกซ์ $([I] - [S^*]^T [S])$ เป็น hermitain เสมอ ฉะนั้น (92) เป็น hermitain สำหรับกำลัง P (ดู section 1.3) สำหรับพาสซีฟิตี (passivity) กำลัง $P \geq 0$ สำหรับทุกค่าที่ $a \neq 0$ ฉะนั้น hermitain ต้องเป็นบวกนี้ หมายความว่า ดิเทอร์มิแนนต์ ของ แมทริกซ์ $([I] - [S^*]^T [S])$ และส่วนประกอบพื้นฐานของมันต้องไม่เป็นลบสำหรับ พาสซีฟิตี (passivity)

ในทอมของ แมทริกซ์สเกลเตอร์รีฟารามิเตอร์ ของวงจร 2 คู่สายข้างต้นจะกลายเป็น

$$([I] - [S^*]^T [S]) = \begin{bmatrix} 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2 & -S_{11}^* S_{12} - S_{21}^* S_{22} \\ -S_{11} S_{12}^* - S_{21} S_{22}^* & 1 - |S_{22}|^2 - |S_{12}|^2 \end{bmatrix} \quad (93)$$

นี้เป็น hermitain จริง ๆ เมื่อ เอลิเมนต์บนเส้นทแยงมุมเป็นจำนวนจริงและ เอลิเมนต์ด้านข้างที่สมมาตรกับเส้นทแยงมุมที่เป็นคอมเพลกซ์ (complex conjugate) นี้สำหรับพาสซีฟ (passive)

$$|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2 < 1 \quad (94)$$

และ

$$|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2 + |S_{22}|^2 + |S_{12}|^2 - |D_s|^2 < 1 \quad (95)$$

เมื่อ

$$D_s = S_{11} S_{22} - S_{12} S_{21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลัปอินพุทและเอาท์พุทใช้แสดงสำหรับพาสซีวิตี้ (passivity) ได้อีกด้วย

$$|S_{22}|^2 + |S_{12}|^2 < 1 \quad (96)$$

ถ้ามีสิ่งหนึ่งสิ่งใดของเงื่อนไขพาสซีวิตี้ (passivity) ข้างบนไม่ถูกต้องวงจรก็จะเป็น แอคทีฟ (active) วงจร 2 คู่สายจะสูญเสียน้อย ถ้าแต่ละเอลิเมนต์ในแมทริกซ์ (93) เท่ากับศูนย์ จะสืบเนื่อง ให้ $|S_{11}| = |S_{12}|$ และ $|S_{12}| = |S_{21}|$

3.8 อินดีฟินิตสเกตเตอร์ริงแมทริกซ์ (INDEFINITE SCATTERING MATRIX) $[S^i]$

ทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 3.7a “Floats” สัมพันธ์กับจุดต่อกราวด์ หรือจุดต่ออ้างอิง แต่ละปลายทั้งสามของอุปกรณ์ สามารถจับคู่กับกราวด์อ้างอิง ซึ่งเรียกว่า พอร์ตสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ สำหรับวงจร 3 คู่สายนี้อยู่ในรูปของ อินคเลฟินิตสเกตเตอร์ริงแมทริกซ์ (indefinite scattering matrix) ดังนี้

$$\begin{aligned} b_1 &= S_{11}^i a_1 + S_{12}^i a_2 + S_{13}^i a_3 \\ b_2 &= S_{21}^i a_1 + S_{22}^i a_2 + S_{23}^i a_3 \\ b_3 &= S_{31}^i a_1 + S_{32}^i a_2 + S_{33}^i a_3 \end{aligned} \quad (97)$$

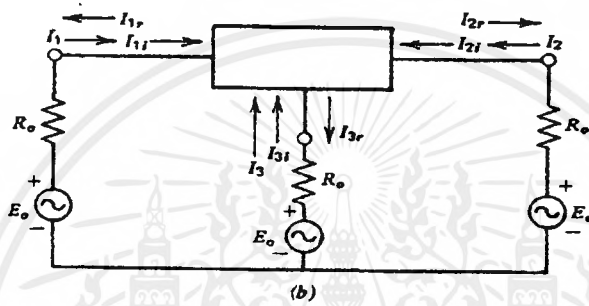
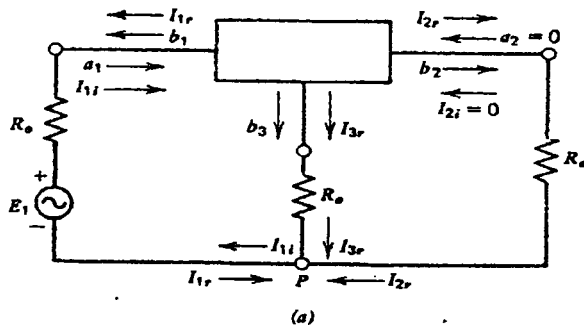
เมื่อตัวอักษรข้างบนแสดงว่าเป็นอินดีฟินิตสเกตเตอร์ริงแมทริกซ์ ทำให้ต่างจาก 2 คู่สายหรือ 3 คู่สาย สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์คุณสมบัติที่สำคัญของอินดีฟินิตสเกตเตอร์ริงแมทริกซ์เป็นการรวมของแฉวบ้างและหลักบ้างเท่ากับศูนย์

การรวมของบางหลักของอินดีฟินิตสเกตเตอร์ริงแมทริกซ์ ต่างกัน 1 สามารถพิสูจน์โดยใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟที่จุด P ในรูปที่ 3.7a เมื่อพอร์ตที่ 2 และ 3 เป็นปลายที่ต่อความต้านทานเปรียบเทียบ (reference resistance) R_0 และ เมื่อ $E_2 = E_3 = 0$ ส่วนตกกระทบทั้งสองพอร์ตเท่ากับศูนย์ หรือ $I_{2i} = I_{3i} = 0$ และ $a_2 = a_3 = 0$ ดังนั้นที่ P

$$I_{1r} = I_{1i} + I_{2r} + I_{3r} = 0$$

หรือ

$$I_{1i} = I_{1r} + I_{2r} + I_{3r} \quad (98)$$



รูปที่ 3.7 (a-b) แสดงวงจรที่ใช้รวมแอมและหลักใน อินดีฟินิตสเกเตอร์ริงเมทริกซ์เท่ากับ 1

ดังนั้น (97) กลายเป็น

$$\begin{aligned} b_1 &= S_{11}^i a_1 \\ b_2 &= S_{21}^i a_1 \\ b_3 &= S_{31}^i a_1 \end{aligned} \quad (99)$$

หรือ

$$\begin{aligned} \sqrt{R_0} I_{1r} &= S_{11}^i \sqrt{R_0} I_{1i} \\ \sqrt{R_0} I_{2r} &= S_{21}^i \sqrt{R_0} I_{1i} \\ \sqrt{R_0} I_{3r} &= S_{31}^i \sqrt{R_0} I_{1i} \end{aligned} \quad (100)$$

ตัด R_0 ออก และบวกกันทั้ง 3 สมการเทียบกับ (98) จะได้

$$S_{11}^i + S_{21}^i + S_{31}^i = \frac{I_{1r} + I_{2r} + I_{3r}}{I_{1i}} = 1 \quad (101)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำเช่นเดียวกันโดยใช้ E_2 และ E_3 และให้ที่ปลายพอร์คอื่นต่อกับ R_0 และทำตามขั้นตอนเดียวกันเพื่อแสดงว่า $S'_{12} + S'_{22} + S'_{32} = 1$ และ $S'_{13} + S'_{23} + S'_{33} = 1$ ดังนั้น การรวมหลักจะเท่ากับ 1

ในรูป 3.7b แหล่งจ่ายทุกตัวเซตให้เท่ากับ E_0 เป็นเหตุให้ทั้งสามจุดต่อของอุปกรณ์เกิดแรงดันเท่ากัน กระแส I_1, I_2 และ I_3 เท่ากับศูนย์ ดังนั้น $I_{1i} = I_{1r}, I_{2i} = I_{2r}, I_{3i} = I_{3r}$ และกระแสตกกระทบที่ทั้งสามพอร์ค จะเท่ากัน หรือ $I_{2i} = I_{2r} = I_{3i}$ เพราะว่า แหล่งจ่ายแรงดันเท่ากัน แทนในแถวแรกของ (97) จะได้

$$b_1 = S'_{11}a_1 + S'_{12}a_2 + S'_{13}a_3$$

ซึ่งได้

$$\sqrt{R_0}I_{1r} = S'_{11}\sqrt{R_0}I_{1i} + S'_{12}\sqrt{R_0}I_{2i} + S'_{13}\sqrt{R_0}I_{3i}$$

$$I_{1r} = (S'_{11} + S'_{12} + S'_{13})I_{1i} \quad (102)$$

อย่างไรก็ตามเมื่อ $I_{1i} = I_{1r}$ นี้กลายเป็น

$$S'_{11} + S'_{12} + S'_{13} = 1 \quad (103)$$

ทำตามขั้นตอนเดียวกันโดยประยุกต์กับแถวที่สองและสามของ(97)เพื่อแสดงว่า $S'_{21} + S'_{22} + S'_{23} = 1$ และ $S'_{31} + S'_{32} + S'_{33} = 1$ ถ้ารูปเพียงสี่สเกลเตอร์ริงพารามิเตอร์ในแก๊ เอลิเมนต์ของ แมทริกซ์สำหรับอุปกรณ์ 3 คู่สายตัวอื่น ๆ ของอินดีฟินิตสเกลเตอร์ริงแมทริกซ์สามารถจะคำนวณให้สมบูรณ์ได้ ซึ่งทั้งสี่ตัวจะพิจารณาเป็นอิสระจะดีที่สุด หากได้โดยความสัมพันธ์ง่าย ๆ ของการจัด พารามิเตอร์แต่ละตัวสัมพันธ์การส่งในทิศทางตรง (Forward) จะจัดง่ายกว่าสัมพันธ์การส่งในทิศทางกลับ (Reverse) จะมีเพียงสองพารามิเตอร์ในบางแถวหรือบางหลักที่เป็นอิสระและจะเป็นการดีที่สุดถ้าจัดให้เอลิเมนต์ในแถวและหลักสอดคล้องกับลำดับ เบส (base), อิมิตเตอร์ (emitter) และ คอลเลคเตอร์ (collector)

3.9 อินดีฟินิตสเกลเตอร์ริงแมทริกซ์ (SCATTERING TRANSFER PARAMETERS) T

นอร์มอลไลซ์สเกลเตอร์ริงพารามิเตอร์สำหรับวงจร 2 คู่สายเป็น

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (104)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (105)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเตอร์ริงทรานสเฟอร์พารามิเตอร์ หรือเรียกง่าย ๆ ว่า T พารามิเตอร์ ได้มาโดยการเลือกให้ a_2 และ b_2 เป็นตัวแปรอิสระและ b_1 และ a_1 เป็นตัวแปรตาม ดังนั้น จะได้ว่า

$$b_1 = T_{11}a_2 + T_{12}b_2 \quad (106)$$

$$a_1 = T_{21}a_2 + T_{22}b_2 \quad (107)$$

T พารามิเตอร์สามารถหาได้จาก S พารามิเตอร์ โดยการแก้สมการ (104) ให้เป็นสมการของ a_1 และแทนในสมการที่ (105) และแก้ผลของสมการที่ให้อยู่ในรูปของสมการ b_1 จะได้

$$b_1 = \frac{-(S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21})}{S_{21}}a_2 + \left(\frac{S_{11}}{S_{21}}\right)b_2 \quad (108)$$

เปรียบเทียบกับ (108) กับ (106) จะพบว่า

$$T_{11} = \frac{-(S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21})}{S_{21}} \quad (109)$$

และ

$$T_{12} = \left(\frac{S_{11}}{S_{21}}\right) \quad (110)$$

ต่อจากนั้นใช้สมการ (104) ถึง (108) แก้สมการจะได้ผลของสมการสำหรับ a_1 ดังนี้

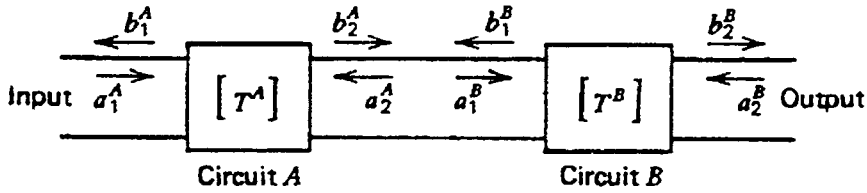
$$a_1 = \left(-\frac{S_{22}}{S_{21}}\right)a_2 + \left(\frac{1}{S_{21}}\right)b_2 \quad (111)$$

เปรียบเทียบกับ (111) กับ (107) แสดงว่า

$$T_{21} = \left(-\frac{S_{22}}{S_{21}}\right) \quad (112)$$

และ

$$T_{22} = \left(\frac{1}{S_{21}} \right) \quad (113)$$



รูปที่ 3.8 แสดงสเกตเตอร์ริงทรานสเฟอร์พารามิเตอร์ ต่อ แคสเคด

พิจารณาการแคสเคด (cascade) ของวงจร 2 คู่สาย A และ B ในรูปที่ 3.8

สำหรับวงจร A

$$\begin{bmatrix} b_1^A \\ a_1^A \end{bmatrix} = [T^A] \begin{bmatrix} a_2^A \\ b_2^A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11}^A & T_{12}^A \\ T_{21}^A & T_{22}^A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2^A \\ b_2^A \end{bmatrix} \quad (114)$$

และสำหรับ B

$$\begin{bmatrix} b_1^B \\ a_1^B \end{bmatrix} = [T^B] \begin{bmatrix} a_2^B \\ b_2^B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11}^B & T_{12}^B \\ T_{21}^B & T_{22}^B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2^B \\ b_2^B \end{bmatrix} \quad (115)$$

แต่

$$\begin{bmatrix} a_2^A \\ b_2^A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1^B \\ a_1^B \end{bmatrix}$$

เพราะเป็นจุดต่อของการแคสเคด (cascade) ดังนั้นแทน (115) ใน (114) จะได้

$$\begin{bmatrix} b_1^A \\ a_1^A \end{bmatrix} = [T^A] [T^B] \begin{bmatrix} a_2^B \\ b_2^B \end{bmatrix} \quad (116)$$

$$= [T] \begin{bmatrix} a_2^B \\ b_2^B \end{bmatrix} \quad (117)$$

เมื่อ T พารามิเตอร์เป็น

$$[T] = [T^A] [T^B] = \begin{bmatrix} T_{11}^A & T_{12}^A \\ T_{21}^A & T_{22}^A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{11}^B & T_{12}^B \\ T_{21}^B & T_{22}^B \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} T_{11}^A T_{11}^B + T_{12}^A T_{21}^B & T_{11}^A T_{12}^B + T_{12}^A T_{22}^B \\ T_{21}^A T_{11}^B + T_{22}^A T_{21}^B & T_{21}^A T_{12}^B + T_{22}^A T_{22}^B \end{bmatrix} \quad (118)$$

อันที่จริงแล้ว พารามิเตอร์ทั้งหมดของการแคสเคด (cascade) จะได้โดยการคูณแต่ละส่วนของแมทริกซ์ T พารามิเตอร์ในออคเตอร์เดียวกัน เหมือนกับเป็นการรวมวงจรเข้าด้วยกันนั่นเอง เพื่อจะได้ตรงตามสมการ (106) และ (107) ที่กำหนดให้ นี้จะมีลักษณะการใช้ร่วมกับ ABCD พารามิเตอร์ ที่กำหนดให้ไว้ในตารางที่ 1.1



บทที่ 4

การออกแบบโดยใช้สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์
(DESIGN BY USED SCATTERING PARAMETER)

เพราะในการวัดโดยทั่วไปของสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ จะอ้างถึงความต้านทาน 50Ω ในการต่อวงจร คือ $R_{o1} = R_{o2} = 50 \Omega$ ถ้าทรานซิสเตอร์ถูกใช้ในวงจรขยายที่ซึ่งจุดปลายของแหล่งกำเนิด (Source) และโหลดของทรานซิสเตอร์ต่างก็เท่ากับ 50Ω เราจะได้สูตรสำหรับ เกนกำลัง (Power gain) คือ

$$G_p = \frac{|S_{21}|^2}{1 - |S_{11}|^2} \quad (1)$$

และค่า ทรานสดิวเซอร์เพอร์เวอร์เกน (transducer power gain) คือ

$$G_T = |S_{21}|^2 \quad (2)$$

ซึ่งค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์คือค่าที่ถูกวัดอย่างไรก็ตามมันไม่บ่อยนักที่เราจะต้องการให้ปลายของทรานซิสเตอร์ เท่ากับ 50Ω

ถ้าค่าอื่นนอกจาก 50Ω ถูกนำมาใช้สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ ก็จะแตกต่างจากค่าที่วัดได้ ถ้า สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์นั้นสามารถหาค่าได้เราก็ใช้แทนใน (1), (2) ก็จะให้ค่าเพอร์เวอร์ออกมา การหาค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์อันใหม่นั้น (ค่า $> 50 \Omega$) จะหาได้ยาก เพราะนอกจากจะขึ้นอยู่กับทรานซิสเตอร์และเงื่อนไขในการทำงานของมันแล้วยังขึ้นอยู่กับปลายของมันด้วยค่าพารามิเตอร์ใหม่นี้ไม่สามารถวัดได้เพราะระบบการวัดจะใช้ปลายของ 50Ω มากกว่า ดังนั้นค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ ใหม่ต้องคำนวณในเทอมของสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ที่ถูกวัดและค่าอิมพีแดนซ์ (ค่าความต้านทานเมื่ออยู่ในรูปของเฟส) ที่ถูกเลือก (แบบสุ่ม) สำหรับทรานซิสเตอร์

4.1 การคำนวณหาสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์

ขั้นตอนในการหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่เราต้องการมีดังนี้

ขั้นที่ 1 เปลี่ยนค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ที่วัดได้ตั้งแต่แรกสำหรับ 50Ω ไปสู่ค่า Z พารามิเตอร์ที่ทำเช่นนี้เพราะ Z พารามิเตอร์ไม่ขึ้นกับค่าอิมพีแดนซ์ที่ทำให้เงื่อนไขในการทำงานของทรานซิสเตอร์ยังคงอยู่ และเราสามารถใช่ h หรือ y พารามิเตอร์แทนก็ได้

ขั้นที่ 2 เขียนสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ใหม่ในเทอมของ z และค่าอิมพีแดนซ์ของขั้วที่ถูกเลือกมาแล้ว ขั้นตอนนี้ไม่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนที่ 1 เพื่อที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ใหม่กับปลายที่ถูกเลือกมา ส่วน z ที่เกี่ยวข้องนั้นก็เป็นส่วนเกินที่ควรจะถูกกำจัด

ขั้นที่ 3 กำจัดค่า z จากความสัมพันธ์ในขั้นที่ 2 โดยการแทนค่า z จากขั้นที่ 1 ผลที่ได้คือความสัมพันธ์ระหว่างสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ใหม่ต่ออิมพีแดนซ์ที่ปลาย และค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ที่วัดได้

ผลที่ได้รับจากการศึกษาจะแสดงค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ใหม่ หรือเจนเนอเรตสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ (S') ในเทอมของอิมพีแดนซ์ที่ปลาย z และค่า สเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ [S] ที่ทราบ ดังนี้

$$[S'] = [A]^{-1}([S] - [\Gamma^*][I] - [\Gamma][S]^{-1}[A^*]) \quad (3)$$

เมื่อ

$$A_i = (1 - \Gamma_i^*) \frac{\sqrt{1 - |\Gamma_i|^2}}{|1 - \Gamma_i|} \quad (4)$$

= เอลิเมนต์ที่ ii ของเส้นทแยง เมทริกซ์เท่ากับลำดับที่ i พอร์ต

$$\Gamma_i = \frac{Z_i - R_0}{Z_i + R_0} \quad (5)$$

= เอลิเมนต์ที่ ii ของเส้นทแยงมุมเมทริกซ์สัมประสิทธิ์การสะท้อนเท่ากับลำดับที่ i พอร์ต

และ Z_i คือ อิมพีแดนซ์ของ พอร์ต i

สมการที่ (3) ใช้ได้สำหรับวงจรของพอร์ต n ถ้าทรานซิสเตอร์ถูกใช้ในวงจร 2 คู่สายและถ้ามีอิมพีแดนซ์ที่ปลาย Z_1 ที่ อินพุตและ Z_2 ที่ เอาท์พุตสมการที่ (3) จะให้ค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ตามสมการ (6) – (9) ซึ่ง A_i และ A_i^* ได้มาจากสมการที่ (4) และ Γ_i และ Γ_i^* ได้มาจาก (5)

$$S'_{11} = \frac{A_1^* [(1 - \Gamma_2 S_{22})(S_{11} - \Gamma_1^*) + \Gamma_2 S_{12} S_{21}]}{A_1 [(1 - \Gamma_1 S_{11})(1 - \Gamma_2 S_{22}) - \Gamma_1 \Gamma_2 S_{12} S_{21}]} \quad (6)$$

$$S'_{12} = \frac{A_2^* S_{12} [1 - |\Gamma_1|^2]}{A_1 [(1 - \Gamma_1 S_{11})(1 - \Gamma_2 S_{22}) - \Gamma_1 \Gamma_2 S_{12} S_{21}]} \quad (7)$$

$$S'_{21} = \frac{A_1^* S_{21} [1 - |\Gamma_2|^2]}{A_2 [(1 - \Gamma_1 S_{11})(1 - \Gamma_2 S_{22}) - \Gamma_1 \Gamma_2 S_{12} S_{21}]} \quad (8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S'_{22} = \frac{A_2^* [(1 - \Gamma_1 S_{11})(S_{22} - \Gamma_2^*) + \Gamma_1 \Gamma_2 S_{12} S_{21}]}{A_2 [(1 - \Gamma_1 S_{11})(1 - \Gamma_2 S_{22}) - \Gamma_1 \Gamma_2 S_{12} S_{21}]} \quad (9)$$

สมการที่ (6) – (9) จะแสดงพารามิเตอร์ได้จากการวัด (คือ พารามิเตอร์ที่ทราบค่าได้) ถ้า $Z_i = R_0$ เพราะค่าสัมประสิทธิ์จาก (5) จะเท่ากับ 0

เมื่อใช้ค่าทราบค่ากำลังงานที่ได้รับโอเพอร์เรทิงเพอร์เวอร์เกน (operating power gain) คือ สมการ (10)

$$G'_p = \frac{|S'_{21}|^2}{1 - |S'_{11}|^2} \quad (10)$$

และค่าทรานสดิวเซอร์เพอร์เวอร์เกน (transducer power gain) คือ สมการ (11)

$$G'_T = |S'_{21}|^2 \quad (11)$$

4.2 วงจรขยายแบบยูนิเลเตอร์รอล (UNILATERAL AMPLIFIER)

เมื่อค่า S_{12} มีค่าน้อยมากพอที่จะไม่คำนึงถึงอุปกรณ์นั้นจะถูกกระทำจากข้างเดียวเท่านั้นเพราะไม่มีป้อนกลับภายในค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์สำหรับอุปกรณ์ยูนิเลเตอร์รอล (unilateral device) นี้จะหาได้จากสมการ (6) – (9) โดยแทน $S_{12} = 0$ จะได้สมการ (12) – (15)

$$S'_{11,u} = \frac{A_1^* (S_{11} - \Gamma_1^*)}{A_1 (1 - \Gamma_1 S_{11})} = \frac{1 - \Gamma_1 S_{11} - \Gamma_1^*}{1 - \Gamma_1^* (1 - \Gamma_1 S_{11})} \quad (12)$$

$$S'_{12,u} = 0 \quad (13)$$

$$S'_{21,u} = \frac{A_1^* S_{21} (1 - |\Gamma_2|^2)}{A_2 (1 - \Gamma_1 S_{11})(1 - \Gamma_2 S_{22})} \quad (14)$$

$$S'_{22,u} = \frac{A_2^* (S_{22} - \Gamma_2^*)}{A_2 (1 - \Gamma_2 S_{22})} = \frac{1 - \Gamma_2 S_{22} - \Gamma_2^*}{1 - \Gamma_2^* (1 - \Gamma_2 S_{22})} \quad (15)$$

และค่ายูนิเลเตอร์รอลโอเพอร์เรทิงเพอร์เวอร์เกน (unilateral operating power gain) กลายเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(G'_p)_u = \frac{|S'_{21,u}|^2}{1-|S'_{11,u}|^2}$$

$$|S_{21}|^2 \frac{1-|\Gamma_1|^2}{|1-\Gamma_1 S_{11}|^2 - |S_{11} - \Gamma_1^*|^2} \cdot \frac{1-|\Gamma_2|^2}{|1-\Gamma_2 S_{22}|^2} \quad (16)$$

ค่าแฟคเตอร์ตัวที่ 2 ใน (16) ที่เกี่ยวข้องกับ Γ_1 อาจทำให้ยุ่งขึ้นได้ เพราะ Γ_1 และ S_{11} ต่างก็เป็นจำนวนเชิงซ้อนแทนค่า $\Gamma_1 = U_1 + jV_1$ และ $S_{11} = A_{11} + jB_{11}$ เราจะได้ค่าแฟคเตอร์ที่ 2 คือ

$$(G'_p)_u = \frac{1}{1-|S_{11}|^2}$$

$$= \frac{|S_{21}|^2 \frac{1-|\Gamma_2|^2}{|1-\Gamma_2 S_{22}|^2}}{1-|S_{11}|^2}$$

$$G_p \frac{1-|\Gamma_2|^2}{|1-\Gamma_2 S_{22}|^2} \quad (17)$$

ดังนั้น จะได้ (17) ซึ่ง $G_p = \frac{|S_{21}|^2}{(1-|S_{11}|^2)}$ เป็นค่าของโอเพอร์เรทีงเพอร์เวอร์เกน (operating power gain) ที่มีขั้ว 50Ω จะสังเกตได้ว่า (17) ไม่ขึ้นกับ Γ_1 แต่ขึ้นกับค่า Γ_2 และค่าโพลดิมพีแดนซ์ใน (17) แฟคเตอร์

$$G_2 = \frac{1-|\Gamma_2|^2}{|1-\Gamma_2 S_{22}|^2} \quad (18)$$

จะชี้ให้เห็นถึงเพอร์เวอร์เกน หรือการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาและได้มาจากการเปลี่ยนโพลดิมพีแดนซ์จาก R_0 เป็น Z_2

ค่าโอเพอร์เรทีงเพอร์เวอร์เกน (operating power gain) ของ ยูนิเตเตอร์รอลจะเป็นค่าสูงสุด

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(G'_p)_u = \frac{|S'_{21,u}|^2}{1-|S'_{11,u}|^2} |S_{21}|^2 \frac{1-|\Gamma_1|^2}{|1-\Gamma_1 S_{11}|^2 - |S_{11} - \Gamma_1^*|^2} \cdot \frac{1-|\Gamma_2|^2}{|1-\Gamma_2 S_{22}|^2} \quad (16)$$

ค่าแฟคเตอร์ตัวที่ 2 ใน (16) ที่เกี่ยวข้องกับ Γ_1 อาจทำให้ยุ่งขึ้นได้ เพราะ Γ_1 และ S_{11} ต่างก็เป็นจำนวนเชิงซ้อนแทนค่า $\Gamma_1 = U_1 + jV_1$ และ $S_{11} = A_{11} + jB_{11}$ เราจะได้ค่าแฟคเตอร์ที่ 2 คือ

$$(G'_p)_u = \frac{1}{1-|S_{11}|^2} \frac{|S_{21}|^2}{1-|S_{11}|^2} \frac{1-|\Gamma_2|^2}{|1-\Gamma_2 S_{22}|^2} G_p \frac{1-|\Gamma_2|^2}{|1-\Gamma_2 S_{22}|^2} \quad (17)$$

ดังนั้น จะได้ (17) ซึ่ง $G_p = \frac{|S_{21}|^2}{(1-|S_{11}|^2)}$ เป็นค่าของโอเพอร์เรทีงเพอร์เวอร์เกน (operating power gain) ที่มีขั้ว 50Ω จะสังเกตได้ว่า (17) ไม่ขึ้นกับ Γ_1 แต่ขึ้นกับค่า Γ_2 และค่าโหลดอิมพีแดนซ์ใน (17) แฟคเตอร์

$$G_2 = \frac{1-|\Gamma_2|^2}{|1-\Gamma_2 S_{22}|^2} \quad (18)$$

จะชี้ให้เห็นถึงเพอร์เวอร์เกน หรือการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นมาและได้มาจากการเปลี่ยนโหลดอิมพีแดนซ์ จาก R_0 เป็น Z_2

ค่าโอเพอร์เรทีงเพอร์เวอร์เกน (operating power gain) ของ ยูนิเลเตอร์รอลจะเป็นค่าสูงสุด

เมื่อ

$$\Gamma_2 = S_{22}^* \quad (19)$$

ดังนั้น ค่าสูงสุดของยูนิเลเตอร์รอลโอเพอร์เรทีงเพอร์เวอร์เกน (unilateral operating power gain) คือ (20)

$$G_u = \frac{|S_{21}|^2}{(1-|S_{11}|^2)(1-|S_{22}|^2)} \quad (20)$$

และค่ายูนิเลเตอร์รอลทรานสดิวเซอร์เพอร์เวอร์เกน (unilateral transducer power gain) จะคือ (21)

$$\begin{aligned} (G'_T) &= |S'_{21,u}|^2 = |S_{21}|^2 \frac{|1-|\Gamma_1|^2|}{|1-\Gamma_1 S_{11}|^2} \cdot \frac{|1-|\Gamma_2|^2|}{|1-\Gamma_2 S_{22}|^2} \\ &= G_T G_1 G_2 \end{aligned} \quad (21)$$

ซึ่ง $G_T = |S_{21}|^2$ จะแสดงค่าทรานสดิวเซอร์เพอร์เวอร์เกน (transducer power gain) ที่มีขั้วปลาย

$$G_i = \frac{|1-|\Gamma_i|^2|}{|1-\Gamma_i S_{ii}|^2}, \quad i = 1, 2 \quad (22)$$

ซึ่งให้เห็นเพอร์เวอร์เกน (power gain) หรือการสูญเสีย (loss) อื่น ๆ ที่ได้จากการเปลี่ยนค่าแหล่งกำเนิด (source) และโหลดอิมพีแดนซ์เป็น Z_1 และ Z_2

ถ้ามีค่าเสถียรภาพแล้ว G_1 จะมีค่าสูงสุดเมื่อ

$$\Gamma_1 = S_{11}^* \quad (23)$$

และ G_2 จะมีค่ามากที่สุด เมื่อ

$$\Gamma_2 = S_{22}^* \quad (24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรืออาจกล่าวได้ว่ามีการจับคู่ของคอนจูเกตในแต่ละพอร์ต ดังนั้นค่าสูงสุดของยูนิเลเตอร์รอลทรานสดิวเซอร์ (unilateral transducer) จะคือ (25) ซึ่งเป็นค่าเดียวกันกับค่าสูงสุดของยูนิเลเตอร์รอลโอเพอร์เรทีง (unilateral operating) (จุดทำงาน) เพอร์เวอร์เกนและ ค่าสูงสุดของยูนิเลเตอร์รอลเกณฑ์สามารถหาค่าได้

$$G_u = \frac{|S_{21}|^2}{(1-|S_{11}|^2)(1-|S_{22}|^2)} \quad (25)$$

ค่า G_u จะเป็นค่าที่จำกัด (หาค่าได้) สำหรับค่าเสถียรภาพ สำหรับตัวขยายยูนิเลเตอร์รอลจะต้องมี $|S_{11}| < 1$ และ $|S_{22}| < 1$

ค่าแหล่งกำเนิด (source) และ โหลดอิมพีแดนซ์ที่จะถูกนำมาใช้หาค่า G_u อาจหาได้จากสมิธชาร์ตขั้นแรกตั้งค่า $\Gamma_i = S_{ii}^*$ ถ้าค่า S_{ii}^* ให้ค่ามาในรูปเชิงขั้วใช้สเกลมุมของสัมประสิทธิ์การสะท้อน และหาค่าขนาดของระยะทางได้จากสเกลรัศมีเชิงเส้น ถ้า S_{ii}^* ให้ค่ามาในรูปสี่เหลี่ยม ใช้สเกลรัศมีเชิงเส้น หาค่าขนาดของระยะทางที่เป็นผลจากส่วนจริงและส่วนจินตภาพของ S_{ii} ดังนั้นเมื่อแทนค่า $\Gamma_i = S_{ii}^*$ สำหรับ $i = 1$ และ 2 แล้วค่าปกติของ วงกลมสมิธชาร์ตที่ผ่านจุด Γ_i จะเท่ากับ Z_i / R_0

สำหรับเงื่อนไขอื่น ๆ นอกจากการจับคู่คอนจูเกตแล้ว ค่ายูนิเลเตอร์รอลเพอร์เวอร์เกน (unilateral power gain) จะขึ้นกับค่า G_i จะเป็นอย่างไร เมื่อค่า แหล่งกำเนิด (source) และโหลดอิมพีแดนซ์เปลี่ยนไป ซึ่งเราจะตรวจสอบได้โดย

$$G_i = \frac{|1-\Gamma_i|^2}{|1-\Gamma_i S_{ii}|^2}, \quad i = 1, 2 \quad (26)$$

เมื่อค่า G_i ถูกพิจารณาให้เป็นค่าคงที่

จะเกิด 2 กรณี กรณี 1 สำหรับ $|S_{ii}| < 1$ และกรณีที่ 2 สำหรับ $|S_{ii}| > 1$

4.2.1 กรณีที่ 1 $|S_{ii}| < 1$

ค่า G_i ใน (26) จะมีค่าสูงสุดเมื่อ $\Gamma_i = S_{ii}^*$ ดังนั้น จะได้ (27)

$$G_{i_{\max}} = \frac{1}{1-|S_{ii}|^2} \quad (27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเป็นการตีที่ จะนิยามค่าออร์มอลไลซ์เกนเป็น (28)

$$g_i = \frac{G_i}{G_{i_{\max}}} = G_i (1 - |S_{ii}|^2) = \frac{|1 - |\Gamma_i|^2|}{|1 - \Gamma_i S_{ii}|^2} (1 - |S_{ii}|^2) \quad (28)$$

เมื่อค่า $0 < g_i < 1$ จุดประสงค์ในขณะนี้ คือการหาค่า Γ_i เมื่อ g_i เป็นค่าคงที่ ใช้ทรานซิสเตอร์ ที่ระบุค่า S_{ii} กำหนดให้ (29)

$$\Gamma_i = U_i + jV_i \quad (29)$$

และ (30) เพราะ Γ_i แสดงค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน U_i

$$S_{ii} = A_{ii} + jB_{ii} \quad (30)$$

และ jV_i แสดงค่ามุม (ที่ถูกกำจัด) ของสมิธชาร์ตแทนค่า (29) และ (30) ลงใน (28) จะได้ผลดัง (31)

$$\begin{aligned} & \left[U_i - \frac{g_i A_{ii}}{1 - |S_{ii}|^2 (1 - g_i)} \right]^2 + \left[V_i + \frac{g_i B_{ii}}{1 - |S_{ii}|^2 (1 - g_i)} \right]^2 \\ &= \left[\frac{\sqrt{1 - g_i} (1 - |S_{ii}|^2)}{1 - |S_{ii}|^2 (1 - g_i)} \right]^2 \end{aligned} \quad (31)$$

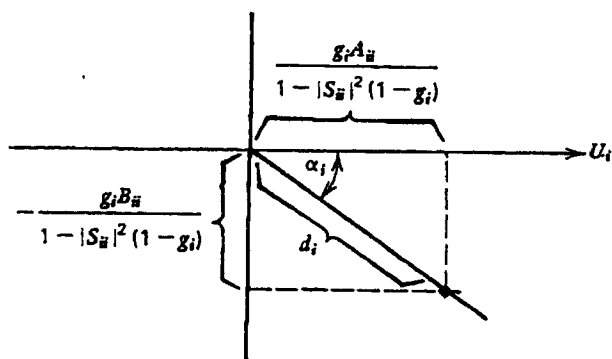
ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลุ่มของ วงกลมที่มี g_i (normalized power gain) เป็นพารามิเตอร์ศูนย์กลางของ วงกลมจะอยู่ที่ (32), (33) เหมือนในรูปที่ 4.1

$$U_i = \frac{g_i A_{ii}}{1 - |S_{ii}|^2 (1 - g_i)} \quad (32)$$

$$V_i = \frac{g_i B_{ii}}{1 - |S_{ii}|^2 (1 - g_i)} \quad (33)$$

เราจะเห็นได้ว่า

$$\tan \alpha_i = \frac{-B_{ii}}{A_{ii}} \quad (34)$$



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งของศูนย์กลางกลมคอนสแตนต์เพอร์เวอร์เกน

นั่นหมายความว่าจุดศูนย์กลางจะอยู่บนเส้นระหว่างจุดกำเนิดของสมิทชาร์ตและจุดที่มีส่วนจริงคือ A_{ii} และส่วนจินตภาพคือ B_{ii} จุดนี้คือ S_{ii}^* เมื่อเรามีค่าสูงสุดของยูนิเลเตอร์รอลโอเพอร์เรทิงเพอร์เวอร์เกน (unilateral operating power gain)

ระยะ d_i ของเส้นนี้จากจุดกำเนิดชาร์ตไปที่จุด ศ.ก. ของวงกลมเพอร์เวอร์เกนที่คงที่จะได้จากค่ารากที่สองของผลรวมของกำลังสองของ (32) และ (33) จะได้

$$d_i = \frac{g_i |S_{ii}|}{1 - |S_{ii}|^2 (1 - g_i)} \quad (35)$$

จาก (31) รัศมีของวงกลมคือ

$$\rho_i = \frac{\sqrt{1 - g_i} (1 - |S_{ii}|^2)}{1 - |S_{ii}|^2 (1 - g_i)} \quad (36)$$

ค่ารัศมีเป็น 0 เมื่อ $G_i = G_{i_{\max}}$ หรือ $g_i = 1$ ดังนั้น วงกลมเพอร์เวอร์เกนจะเป็นจุดอยู่ที่ S_{ii}^* ถ้าใช้ค่า 50Ω ที่ปลาย, $\Gamma_i = 0$ และ $G_i = 1$ (หรือ 0 dB) จะได้

$$g_i = 1 - |S_{ii}|^2, \text{ for } G_i = 1 \quad (37)$$

แทนค่านี้ลงใน (35) และ (36) จะทำให้ค่า $d_i = \rho_i$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$d_i = \rho_i = \frac{|S_{ii}|}{1+|S_{ii}|^2}, \text{ for } G_i = 1 \quad (38)$$

นั่นหมายความว่า G_i ที่มีค่า 0 dB วงกลมเพอร์เวอร์เกินผ่านจุดกำเนิดของสมิธชาร์ตในวงกลมนี้ค่า $G_i > 1$ และ จะให้ค่า Z_i / R_0 เมื่อค่าเพอร์เวอร์เกินมีค่ามากกว่าเมื่อใช้ 50Ω ที่ปลายภายนอกวงกลมเพอร์เวอร์เกินค่า $G_i < 1$

4.2.2 กรณีที่ 2 : $|S_{ii}| > 1$

เมื่อค่า $|S_{ii}| > 1$ อุปกรณ์จะไม่เสถียรภาพ เพราะจุดนี้จะอยู่นอกสมิธชาร์ตซึ่งจะได้ค่าอินพุท หรือเอาต์พุทอิมพีแดนซ์เป็นลบ แต่ก็ได้ไม่ได้เป็นปัญหาอะไรสำหรับการวัดค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ราบเท่าที่มีค่าไม่เกินค่าอ้างอิง 50Ω ของระบบ ถ้าค่ารวมสุทธิของความต้านทานอินพุท หรือเอาต์พุทเป็นค่าบวกวงจรถจะไม่กระเพื่อมระหว่างการหาค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ซึ่งเป็นลักษณะที่มีประโยชน์มากในการหาค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์

เมื่อ $|S_{ii}| > 1$ เราสามารถใช้ สมิธชาร์ตได้โดยการกำหนดค่าคอนจูเกตของ S_{ii} ที่เกี่ยวข้อง เหมือนใน 4.2.1 แต่ค่าความต้านทานจะใช้ค่าลบ และค่ารีแอกแตนซ์จะเหมือนกับค่าในสมิธชาร์ตเราจะนิยามนอร์มอลไลซ์เกนแฟคเตอร์ (normalized gain factor) คือ

$$g_i = G_i(1 - |S_{ii}|^2) \quad (39)$$

เมื่อ $|S_{ii}| > 1$ และค่า g_i เป็นค่าลบ เมื่อเราทำตามขั้นตอนในส่วน 4.2.1 จุดศูนย์กลางและรัศมีของวงกลมเพอร์เวอร์เกินซึ่งจะได้ค่าเหมือนเดิม ดังนั้นจะได้ (40) และ (41)

$$d_i = \frac{g_i |S_{ii}|}{1 - |S_{ii}|^2 (1 - g_i)} \quad (40)$$

$$\rho_i = \frac{\sqrt{1 - g_i} (1 - |S_{ii}|^2)}{1 - |S_{ii}|^2 (1 - g_i)} \quad (41)$$

ค่า g_i ที่แทนใน (40) และ (41) เป็นค่าลบที่ได้จาก (39) แต่ d_i และ ρ_i เป็นค่าบวกจุดศูนย์กลางของวงกลมจะอยู่บนเส้นที่ลากระหว่างจุดกำเนิดชาร์ตและจุด $1/S_{ii}$ และกลุ่มของวงกลมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็จะถูกวาดสำหรับค่าเฉพาะของ G_i ต่าง ๆ เหมือนเดิมข้อแตกต่างจากกรณีที่ 1 คือวงกลมความต้านทานของสมิธชาร์ตเป็นค่าลบค่าความต้านทานลบสำหรับ G_i คงที่นี้จะเปลี่ยนแปลงจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งรอบวงกลมเพอร์เวอร์เกน

เราจะได้ค่าเพอร์เวอร์เกนทั้งหมดจาก G_i ตามสมการ (42)

$$G_i = \frac{|1 - |\Gamma_i|^2|}{|1 - \Gamma_i S_{ii}|^2} \quad (42)$$

ค่าสูงสุดของ G_i คืออินฟินิตสำหรับค่าวิกฤติ $\Gamma_i = \Gamma_{ic} = 1/S_{ii}$ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนวิกฤตินี้หาได้จากค่าอิมพีแดนซ์ Z_{ic} ซึ่งมีค่าความต้านทานบวกเท่ากับขนาดของความต้านทาน อินพุท หรือเอาต์พุทลบ เนื่องมาจาก $|S_{ii}| > 1$ เพราะในสถานะเช่นนี้ค่าความต้านทานรวมเป็น 0 ดังนั้นจะเกิดการกระเพื่อมขึ้น ค่าของ Γ_i จะแสดงถึงความต้านทานบวกสำหรับ แหล่งกำเนิดพาสซีฟและโหลด ที่ได้จากสมิธชาร์ต ซึ่งมันจะทับกับค่า Γ_i ที่แสดงค่าความต้านทานลบของ ทรานซิสเตอร์ เพื่อป้องกันการกระเพื่อมที่ พอร์ต i ค่า Γ_i จะต้องถูกเลือกมา เช่นส่วนจริงของ อิมพีแดนซ์ มีค่ามากกว่าขนาดของความต้านทานลบ เนื่องจากจุด $1/S_{ii}$ ซึ่งเป็นการง่ายที่จะเลือกค่า Γ_i ตามนั้น เพราะส่วนที่ไม่เสถียรคือส่วนของสมิธชาร์ตที่มีขนาดใน วงกลมรีซิสแดนซ์น้อยกว่าขนาดของส่วนที่ผ่านจุด $1/S_{ii}$

4.2.3 การออกแบบ Broadband

ค่าสเกตเตอร์รีจิงพารามิเตอร์ของ ทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงตามความถี่การเปลี่ยนแปลงนั้นไม่ได้ส่งผลอะไรในตัวขยายที่มีแบนด์แคป

แต่อย่างไรก็ตามในตัวขยายช่วงกว้างมันอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงมากจนต้องนำมาพิจารณา ถ้าเราต้องการให้ ทรานสดิวเซอร์เพอร์เวอร์เกน (transducer power gain) มีค่าคงที่

ใน ส่วน 4.2 ค่ายูนิแลเตอร์รอลทรานสดิวเซอร์เพอร์เวอร์เกน (unilateral transducer power gain) จะคือ (43)

$$(G_T)_u = G_T G_1 G_2 \quad (43)$$

ซึ่ง $G_T = |S_{21}|^2$ และ G_1, G_2 จะแทนเพอร์เวอร์เกน (power gain) หรือการสูญเสีย (loss) อื่น ๆ ที่ได้จากการเข้าคู่กันได้หรือไม่เข้าคู่กันของวงจรอินพุท และเอาต์พุตคั้งนั้นค่าทรานสดิวเซอร์เพอร์

เวอร์เกน (transducer power gain) คงที่ ที่ความถี่ที่เราเลือกจะได้อาจจากการจงใจให้วงจรอินพุท และ เอาท์พุทไม่ แมทซ์กัน ดังนั้นค่าที่เปลี่ยนไปของ G_1 หรือ G_2 จะชดเชยค่าที่เปลี่ยนไปของ G_T

หลังจากที่ทราบค่า G_T เปลี่ยนไปอย่างไรแล้ว เลือกค่า G_1 หรือ G_2 ที่ทำให้ค่ายูนิเลเตอร์รอลเพอร์เวอร์เกน (unilateral power gain) มีค่าคงที่ วัด วงกลมเพอร์เวอร์เกน (power gain circle) ที่ต้องการจากนั้นจึงออกแบบวงจรอินพุทและเอาท์พุทตำแหน่งของจุด ศูนย์กลาง และรัศมีของวงกลมเพอร์เวอร์เกน จะคือ (44), (45) และ (46)

$$d_i = \frac{g_i |S_{ii}|}{1 - |S_{ii}|^2 (1 - g_i)}, \quad i = 1, 2 \quad (44)$$

$$\rho_i = \frac{\sqrt{1 - g_i} (1 - |S_{ii}|^2)}{1 - |S_{ii}|^2 (1 - g_i)}, \quad i = 1, 2 \quad (45)$$

$$g_i = G_i (1 - |S_{ii}|^2) \quad (46)$$

4.3 วงจรขยายแบบนอนยูนิเลเตอร์รอล (nonunilateral amplifier)

สิ่งแรกที่เราควรหาค่าก่อนก็คือทรานซิสเตอร์ นั้นเป็นแบบเสถียรหรือไม่เสถียร การที่มันเสถียรเราสามารถหาค่าได้โดยการเปลี่ยนรูปของค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ไปในรูปของ z, y หรือ h พารามิเตอร์ จากนั้นใช้ค่ามาตรฐานของเสถียรภาพตามบทที่ 2 ส่วนการวิเคราะห์และออกแบบตัวขยายก็ทำตามกระบวนการที่กล่าวมาแล้ว

อย่างไรก็ตามเราก็ต้องการหาค่ามาตรฐานของเสถียรภาพโดยตรงในเทอมของค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ที่หามาได้ และเราก็ต้องการหาสถานะสำหรับการเข้าสู่คอนจูเกต , หาค่าเพอร์เวอร์เกนและค่าปลายที่ต้องการ และคุณสมบัติอื่น ๆ ของนอนยูนิเลเตอร์รอล (nonunilateral) มีความสับสนมากมายในการเขียนเกี่ยวกับเงื่อนไขสำหรับเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent stability) เมื่อเงื่อนไขเหล่านั้นถูกเขียนในเทอมของค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ ส่วนหนึ่งของความสับสนเกิดจากข้อผิดพลาดในการพิมพ์และการพิมพ์ผิดบางส่วนเกิดจากความยุ่งยากในการคำนวณทางเลขคณิตที่เกี่ยวข้องกับออลเกบรา (algebra) ของจำนวนเชิงซ้อน สิ่งเหล่านี้ทำให้คนที่ต้องการใช้เงื่อนไขสำหรับ เสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent stability) จุดประสงค์ของ ส่วน 4.3.1 คือการทำให้เงื่อนไขสำหรับ เสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent stability) ชัดเจนขึ้น

4.3.1 เงื่อนไขสำหรับ เสถียรภาพแบบสมบรูณ์

อุปกรณ์จะเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent stable) ได้ที่ความถี่ค่าหนึ่งก็เมื่อไม่มีโหนดหรืออิมพีแดนซ์แหล่งกำเนิดที่จะทำให้ส่วนจริงของอินพุทหรือ เอาท์พุทอิมพีแดนซ์เป็นค่าลบถ้าอุปกรณ์ไม่เสถียรมันสามารถที่จะถูกเหนี่ยวนำให้กระเพื่อมในช่วงที่ขาดการป้อนกลับ ค่าบวกจากภายนอกอุปกรณ์อาจจะเป็นเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherently stable) ในช่วงอื่น ๆ ของความถี่ก็ได้ อุปกรณ์ต้องเป็นเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent stable) เมื่อเกิดการเข้าสู่กันของคอนจูเกตและเมื่อค่าพาร์เวอร์เกนสูงสุดเป็นค่าจำกัด (finite) สมการที่มีค่าแหล่งกำเนิด และโหนดอิมพีแดนซ์สูงสุด และมีค่าพาร์เวอร์เกนสูงสุดด้วยจะใช้ไม่ได้ สำหรับอุปกรณ์ที่เป็นไปได้

เงื่อนไขสำหรับเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent stability) จะแสดงในเทอมของกลุ่มพารามิเตอร์ที่ทราบค่าพารามิเตอร์นี้จะแสดงถึงลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์และใช้ใน 2 สถานการณ์ : กรณีที่ 1 และกรณีที่ 2

กรณีที่ 1 สำหรับเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent stability) ส่วนจริงของ อินพุท และ เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต้องเป็นค่าบวกสำหรับ โหนด และ ปลายแหล่งกำเนิดที่ระบบต้องการใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์

กรณีที่ 2 สำหรับเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent stability) ส่วนจริงของ อินพุท และ เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต้องเป็นค่าบวกสำหรับทุก ปลาย ที่ถูกทำ

4.3.1.1 เงื่อนไขสำหรับเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent stability) ในกรณีที่ 1 : มี

2 เงื่อนไข คือ

$$|S_{11}| < 1 \quad (47)$$

และ

$$|S_{22}| < 1 \quad (48)$$

ซึ่งจะเหมือนกับ $g_i > 0$ และ $g_o > 0$ โดยการใช้ γ พารามิเตอร์ทั้ง S_{11} และ S_{22} คือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่หาค่าได้โดยอินพุท และเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ Z_{11} และ Z_{22} ตามลำดับ มันจะมี 2 ค่าของสเกเตอร์ริงพารามิเตอร์ที่ถูกวัดค่า ถ้าค่าอินพุท หรือเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ค่าใดค่าหนึ่งมีส่วนจริงเป็นลบค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่เกี่ยวข้องจะมีขนาดใหญ่กว่า 1 และจะอยู่นอกสมิทชาร์ดต้า $|S_{11}| > 1$ หรือ $|S_{22}| > 1$ หรือเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งสองเงื่อนไขเราจะทราบได้ทันทีว่าอุปกรณ์เป็นไปไม่ได้ที่จะไม่เสถียรภาพซึ่งจะมีค่าพาร์เวอร์เกนสูงสุดเป็นค่าไม่จำกัด (infinite) และการเข้าสู่ของคอนจูเกตก็จะไม่เกิดขึ้นสเกเตอร์ริงพารามิเตอร์ S_{11} และ S_{22} แสดงถึงสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ 2 พอร์ตคั้งนั้น

$$S_{11} = \frac{Z_{11} - R_{01}}{Z_{11} + R_{01}} \quad \text{และ} \quad S_{22} = \frac{Z_{22} - R_{02}}{Z_{22} + R_{02}}$$

เพราะว่าทั้งสองตัวมีรูปแบบเหมือนกัน จึงได้

$$S = \frac{Z - R_0}{Z + R_0} \quad (49)$$

ซึ่ง $Z = R + jX$ จะได้

$$S = \frac{R \pm jX - R_0}{R \pm jX + R_0} \quad (50)$$

หรือ

$$|S| = \frac{\sqrt{(R - R_0)^2 + X^2}}{\sqrt{(R + R_0)^2 + X^2}} \quad (51)$$

ถ้า $R > 0$ จะได้ $|S| < 1$ และถ้า $R < 0$ จะได้ $|S| > 1$ (สมมติให้ $R_0 > 0$ จะเห็นได้ว่าเมื่อ $|S_{11}| > 1$, $Z_{11} = -R_{11} \pm jX_{11}$ และเมื่อ $|S_{22}| > 1$, $Z_{22} = -R_{22} \pm jX_{22}$)

ถ้าค่าความต้านทานที่ปลายของอุปกรณ์เป็นค่าลบ อุปกรณ์จะเป็นไปได้ที่จะไม่เสถียรภาพ และเงื่อนไขจะถูกใช้เมื่อ $|S_{11}| > 1$ หรือ $|S_{22}| > 1$

ถึงแม้ว่า $|S_{11}| > 1$ หรือ $|S_{22}| > 1$ ดังนั้น อุปกรณ์ควรจะเป็นไปได้ที่จะไม่เสถียรภาพ แต่ระบบสามารถเป็นเสถียรภาพได้ ถ้าค่าความต้านทานสุทธิของวงจรอินพุท และเอาต์พุทเป็นค่าบวก ค่าความต้านทานสุทธิบวกจะได้เมื่อความต้านทานอินพุทหรือเอาต์พุทค่าลบของอุปกรณ์มีขนาดเล็กกว่าความต้านทานอ้างอิงของระบบ ค่าความต้านทาน อินพุทหรือเอาต์พุทเป็นลบเมื่อ $|S_{11}| > 1$ หรือ $|S_{22}| > 1$ เพราะขนาดของสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่ใหญ่กว่า 1 จะได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์จะอยู่นอกสมิทชาร์ตมันจะสะดวกกว่าถ้าจะตั้งค่ารีซิโปรแคลของคอนจูเกตของสัมประสิทธิ์การสะท้อนข้างต้นบนสมิทชาร์ต และพิจารณาวงกลมความต้านทานเป็นค่าลบ และวงกลมรีซิสแตนซ์เหมือนกับที่ตั้งไว้แล้วดังนั้น เมื่อ $1/S_{11}^*$ หรือ $1/S_{22}^*$ อยู่ในวงกลมรีซิสแตนซ์ 1 หน่วยของสมิทชาร์ตค่าความต้านทานสุทธิของวงจรอินพุท หรือเอาต์พุทเป็นค่าลบในระบบที่เราหาค่าอยู่และเมื่อ $1/S_{11}^*$ หรือ $1/S_{22}^*$ อยู่นอกวงกลมรีซิสแตนซ์ 1 หน่วย ความต้านทานสุทธิของวงจรอินพุทหรือเอาต์พุทของระบบมีค่าเป็นบวก ซึ่งชี้ให้เห็นถึงเสถียรภาพของระบบ เราสามารถกำหนด ทุกค่าของ $|S_{11}| > 1$ หรือ $|S_{22}| > 1$ เมื่อระบบมีความเสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 เงื่อนไขสำหรับเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent stability) ในกรณีที่ 2 :
อุปกรณ์จะเป็นเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ถ้าความต้านทานของอินพุทและเอาต์พุทเป็นค่าบวกสำหรับ
ปลาย ใด ๆ ที่ถูกทำในกรณีที่ 2

ถ้าค่าความต้านทานของอินพุทหรือเอาต์พุทเป็นลบจะได้ว่า $|S'_{11}| > 1$ หรือ $|S'_{22}| > 1$
สำหรับปลาย นั้น ๆ ถึงแม้ว่าความต้านทานอินพุทจะเป็นค่าลบหรือไม่ มันก็จะไม่ขึ้นกับโพลดิมพี
แดนซ์ที่ถูกทำ (หรือสัมประสิทธิ์การสะท้อน ที่มีค่าเท่ากัน, Γ_1) ดังนั้น เราจะสมมติให้ $\Gamma_1 = 0$ เมื่อ
เรากำลังตรวจว่าค่า Γ_2 มีผลอย่างไรต่อ $|S'_{11}|$ ดังนั้น สำหรับเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent
stability) ที่มีค่า $|S'_{11}| < 1$ สำหรับปลายโพลดิมพีที่เราเลือกมา และ $|S'_{22}| < 1$ สำหรับปลายแหล่งกำเนิด
ที่ถูกทำและเราเลือกมา

จากสมการที่ (6) เมื่อมี $\Gamma_1 = 0$ จะได้

$$|S'_{11}| = \frac{|(1 - \Gamma_2 S_{22})S_{11} + \Gamma_2 S_{12} S_{21}|}{|1 - \Gamma_2 S_{22}|} = \frac{|S_{11} - \Gamma_2 D_s|}{|1 - \Gamma_2 S_{22}|} \quad (52)$$

สมการที่ (9) เมื่อมี $\Gamma_2 = 0$ จะได้

$$|S'_{22}| = \frac{|(1 - \Gamma_1 S_{11})S_{22} + \Gamma_1 S_{12} S_{21}|}{|1 - \Gamma_1 S_{11}|} = \frac{|S_{22} - \Gamma_1 D_s|}{|1 - \Gamma_1 S_{11}|} \quad (53)$$

ซึ่ง $D_s = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$

เพราะ (52) และ (53) มีรูปแบบที่เหมือนกันผลลัพธ์ที่ได้จากตัวหนึ่งก็จะให้ผลลัพธ์ของ
อีกตัวโดยการเปลี่ยนเลขข้างใต้ (S_{11}) จาก 1 เป็น 2 และจาก 2 เป็น 1

สำหรับเสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent stability) จาก (52) จะได้

$$|1 - \Gamma_2 S_{22}|^2 > |S_{11} - \Gamma_2 D_s|^2 \quad (54)$$

ซึ่งเราจะใช้ค่ากำลังสองเพราะทั้งสองข้างใช้จำนวนเชิงซ้อนให้ $S_{11} = S_{11R} + jS_{11I}$,
 $S_{22} = S_{22R} + jS_{22I}$, $D_s = D_R + jD_I$ และ $\Gamma_2 = U_2 + jV_2$ หลังจากแก้ (52) จะได้คำตอบที่
แยกส่วนเสถียร และไม่เสถียร คือ

$$\left| \frac{|S_{22} - D_s S_{11}^*| - |S_{12} S_{21}|}{|S_{22}|^2 - |D_s|^2} \right| > 1 \quad (63)$$

เปลี่ยน เลขข้างใต้ 1 และ 2 จะให้เงื่อนไขสำหรับวงจร อินพุท คือ

$$\left| \frac{|S_{11} - D_s S_{22}^*| - |S_{12} S_{21}|}{|S_{11}|^2 - |D_s|^2} \right| > 1 \quad (64)$$

เงื่อนไข (63) อาจจัดใหม่ได้เป็น

$$\left| |S_{22} - D_s S_{11}^*| - |S_{12} S_{21}| \right|^2 > \left| |S_{22}|^2 - |D_s|^2 \right|^2 \quad (65)$$

ยกกำลังสองและจัดกลุ่มจะได้

$$2|S_{12} S_{21}| |S_{22} - D_s S_{11}^*| < |S_{22} - D_s S_{11}^*|^2 + |S_{12} S_{21}|^2 - \left| |S_{22}|^2 - |D_s|^2 \right|^2$$

ยกกำลังสองอีกครั้ง แล้วแทนค่าที่มีมาจะได้

$$\left| |S_{22} - D_s S_{11}^*| \right|^2 = |S_{12} S_{21}|^2 + (1 - |S_{11}|^2) (|S_{22}|^2 |D_s|^2)$$

รวมเทอมต่าง ๆ จะได้

$$\left(|S_{22}|^2 - |D_s|^2 \right)^2 \left\{ (1 - |S_{11}|^2) - \left(|S_{22}|^2 - |D_s|^2 \right) \right\} - 4|S_{12} S_{21}|^2 > 0$$

ซึ่งจะส่งผลให้เกิด

$$2|S_{12} S_{21}| < 1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |D_s|^2 \quad (66)$$

กระบวนการเดียวกัน เริ่มที่ (64) จะให้ผลเหมือนกันคือ (66) ดังนั้น เงื่อนไขทั้งสองใน (63) และ (64) จะรวมเป็นเงื่อนไขเดียวคือ (66) เงื่อนไข (66) อาจเขียนได้เป็น

$$K > 1 \quad (67)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |D_s|^2}{2|S_{12}S_{21}|} \quad (68)$$

สรุปเงื่อนไขสำหรับเสถียรภาพแบบสมบูรณ์ (inherent stability) จะคือ

$$\left. \begin{array}{l} \text{From Case I : } |S_{11}| < 1 \\ |S_{22}| < 1 \\ \text{From Case II : } K > 1 \end{array} \right\} \quad (69)$$

4.3.1.3 เสถียรภาพแบบสมบูรณ์ (Inherent Stability), B_1 และ B_2 : การรวม B_1 เข้าไปในเงื่อนไขสำหรับ

เสถียรภาพแบบสมบูรณ์ (inherent stability) เป็นสิ่งที่เกินความจำเป็น ซึ่งจะแสดงให้ดูดังนี้ จาก (66)

$$2|S_{12}S_{21}| < 1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |D_s|^2$$

เมื่อเรายกกำลังสองทั้งสองข้างจะได้

$$4|S_{12}S_{21}| < (1 - |S_{22}|^2)^2 - 2(1 - |S_{22}|^2)(|S_{11}|^2 - |D_s|^2) + (|S_{11}|^2 - |D_s|^2)^2 \quad (70)$$

ต่อมาก็บวก $4(1 - |S_{22}|^2)(|S_{11}|^2 - |D_s|^2)$ เข้าไปทั้ง 2 ข้าง และรวมเทอมเข้าด้วยกัน จะได้

$$\begin{aligned} 4|S_{12}S_{21}|^2 + 4(1 - |S_{22}|^2)(|S_{11}|^2 - |D_s|^2) &< (1 - |S_{22}|^2)^2 \\ + 2(1 - |S_{22}|^2)(|S_{11}|^2 - |D_s|^2) + (|S_{11}|^2 - |D_s|^2)^2 & \end{aligned} \quad (71)$$

แล้วใช้ค่าจะจง คือ

$$|C_1|^2 = |S_{11} - D_s S_{22}^*|^2 = |S_{12}S_{21}|^2 + (1 - |S_{22}|^2)(|S_{11}|^2 - |D_s|^2) \quad (72)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วรวมเทอมจะได้

$$4|C_1|^2 < (1 - |S_{22}|^2 + |S_{11}|^2 - |D_s|^2)^2 \quad (73)$$

จากนั้นให้ถอดรากที่สอง ก็จะได้

$$2|C_1| < 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |D_s|^2 \quad (74)$$

จะเห็นได้จาก (74) ว่าค่าทางขวาจะเหมือนกับค่า B_1 ที่กำหนดไว้แล้ว และค่าทางซ้ายต้องเป็นค่าบวกเสมอ ดังนั้น ถ้า $K > 1$ ค่า B_1 จะเป็นค่าบวกทันที และจะมีค่ามากกว่า $2|C_1|$ ด้วย เราไม่จำเป็นต้องมีเงื่อนไขว่า B_1 ต้องมากกว่า 0 ในเงื่อนไขของ เสถียรภาพแบบสมบรูณ์ (inherent stability) นอกจากนี้ ถ้า $4(1 - |S_{11}|^2)(|S_{22}|^2 - |D_s|^2)$ ถูกบวกเข้าไปทั้งสองข้างของ (70) ผลลัพธ์ที่ใช้ค่าจะจริง จะคือ

$$|C_2|^2 = |S_{22} - D_s S_{11}^*|^2 = |S_{12} S_{21}|^2 + (1 - |S_{11}|^2)(|S_{22}|^2 - |D_s|^2) \quad (75)$$

ซึ่งจะพบว่า

$$2|C_2| < 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |D_s|^2 \quad (76)$$

ดังนั้น ถ้า $K > 1$ ค่า $B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |D_s|^2$ ไม่เพียงแต่ต้องเป็นค่าบวก แต่ต้องมีค่ามากกว่า $2|C_2|$ ด้วย

4.3.2 เพอร์เวอร์เกนและปลายที่ดีที่สุด (Power Gain and Optimum Terminations)

เมื่อใช้ปลายหนึ่ง ๆ ค่าโอเพอร์เรทิงเพอร์เวอร์เกน (operating power gain) จะได้จาก (10) แทนค่านั้นลงใน (6) และ (8) จะได้

$$G'_p = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\Gamma_1|^2)(1 - |\Gamma_2|^2)}{|1 - \Gamma_1 S_{11} - \Gamma_2 S_{22} + \Gamma_1 \Gamma_2 D_s|^2 - |S_{11} - \Gamma_2 D_s - \Gamma_1^* + \Gamma_1^* \Gamma_2 S_{22}|^2} \quad (77)$$

ในแต่ละเทอมของตัวส่วนจะอยู่ในรูปแบบเดียวกันกับ $|A - B - C + D|^2$ ซึ่ง $A, B, C,$ และ D เป็นจำนวนเชิงซ้อน หลังจากจัดการกับสมการก็จะได้ว่า

$$|A - B - C + D|^2 = |A|^2 + |B|^2 + |C|^2 + |D|^2 + 2\text{Re}[(A^* - B^* - C^*)D - A^*(B + C) + B^*C]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มี $A = 1$, $B = \Gamma_1 S_{11}$, $C = \Gamma_2 S_{22}$ และ $D = \Gamma_1 \Gamma_2 D_s$ เทอมแรกของตัวส่วนจะกลายเป็น

$$\begin{aligned} & 1 + |\Gamma_1|^2 |S_{11}|^2 + |\Gamma_2|^2 |S_{22}|^2 |\Gamma_1|^2 |\Gamma_2|^2 |D_s|^2 \\ & - 2 \operatorname{Re} [\Gamma_1 S_{11} + |\Gamma_1|^2 \Gamma_2^* S_{11} D_s^*] \\ & - 2 \operatorname{Re} [\Gamma_2 S_{22} - \Gamma_1^* \Gamma_2 S_{11}^* S_{22}] \\ & + 2 \operatorname{Re} [\Gamma_1 \Gamma_2 D_s - \Gamma_1 |\Gamma_2|^2 S_{22}^* D_s] \end{aligned} \quad (78)$$

และถ้า $A = S_{11}$, $B = \Gamma_2 D_s$, $C = \Gamma_1^*$ และ $D = \Gamma_1^* \Gamma_2 S_{22}$ เทอมที่สองของตัวส่วนจะคือ

$$\begin{aligned} & |S_{11}|^2 + |\Gamma_2|^2 |D_s|^2 + |\Gamma_1|^2 + |\Gamma_1|^2 |\Gamma_2|^2 |S_{22}|^2 \\ & + 2 \operatorname{Re} [-\Gamma_2 S_{11}^* D_s - \Gamma_1^* S_{11} + \Gamma_1^* \Gamma_2 S_{11}^* S_{22}] \\ & - 2 \operatorname{Re} [-\Gamma_1^* \Gamma_2^* D_s^* + \Gamma_1^* |\Gamma_2|^2 S_{22} D_s^*] - 2 \operatorname{Re} [\Gamma_1^2 \Gamma_2 S_{22}] \end{aligned} \quad (79)$$

เมื่อนำ (78) ลบด้วย (79) เพื่อจะขยายตัวส่วนตัวส่วนก็就会被แฟคเตอร์ ได้เป็น

$$(1 - |\Gamma_1|^2) [1 - |S_{11}|^2 + |\Gamma_2|^2 (|S_{22}|^2 - |D_s|^2) - 2 \operatorname{Re}(\Gamma_2 G_2)] \quad (80)$$

จะเห็นได้ว่าทั้งตัวเศษและตัวส่วนต่างก็มีแฟคเตอร์ $(1 - |\Gamma_1|^2)$ ดังนั้นค่าโอเพอร์เรทิงเพอร์เวอร์เกน (operating power gain) จะไม่ขึ้นกับ Γ_1 เพราะแฟคเตอร์นั้นตัดกันทิ้งไปและโอเพอร์เรทิงเพอร์เวอร์เกน (operating power gain) คือ

$$G'_p = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\Gamma_2|^2)}{1 - |S_{11}|^2 + |\Gamma_2|^2 (|S_{22}|^2 + |D_s|^2) - 2 \operatorname{Re}(\Gamma_2 G_2)} \quad (81)$$

แทนค่า $\Gamma_2 = |\Gamma_2| \cos \phi + j |\Gamma_2| \sin \phi$ และ $C_2 = \operatorname{Re} C_2 + j \operatorname{Im} C_2$ เพราะว่า $\operatorname{Re} C_2 = \operatorname{Re} C_2^*$ และ $-\sin \phi \operatorname{Im} C_2 = \sin \phi \operatorname{Im} C_2^*$

$\operatorname{Re}(\Gamma_2 C_2) = |\Gamma_2| (\cos \phi \operatorname{Re} C_2^* + \sin \phi \operatorname{Im} C_2^*)$ ดังนั้น (81) จะกลายเป็น

$$G'_p = \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\Gamma_2|^2)}{1 - |S_{11}|^2 - 2 |\Gamma_2| (\cos \phi \operatorname{Re} C_2^* + \sin \phi \operatorname{Im} C_2^*) + |\Gamma_2|^2 (|S_{22}|^2 - |D_s|^2)} \quad (82)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะได้ค่า G'_p สูงสุด เนื่องจาก ϕ ให้ $\frac{\partial G'_p}{\partial \phi} = 0$ เพื่อจะหาค่า

$$\sin \phi_{opt} \operatorname{Re} C_2^* = \cos \phi_{opt} \operatorname{Im} C_2^*$$

หรือ

$$\tan \phi_{opt} = \frac{\sin \phi_{opt}}{\cos \phi_{opt}} = \frac{\operatorname{Im} C_2^*}{\operatorname{Re} C_2^*} \quad (83)$$

เราจะได้ 0 และ $\sin \phi_{opt} = \frac{\operatorname{Im} C_2^*}{|C_2|}$ ดังนั้น (82) จะกลายเป็น

$$G'_p \left| \frac{|S_{21}|^2 (1 - |\Gamma_2|^2)}{\phi (1 - |S_{11}|^2 - 2|\Gamma_2| |C_2| + |\Gamma_2|^2 (|S_{22}|^2 - |D_s|^2))} \right| \quad (84)$$

เพื่อที่จะได้ (84) สูงสุด เนื่องจาก $|\Gamma_2|$ ให้ $\frac{\partial G'_p}{\partial |\Gamma_2|} = 0$ เพื่อจะหาว่า

$$|\Gamma_2|_{opt} = \frac{1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |D_s|^2}{2|C_2|} - \left[\left(\frac{1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |D_s|^2}{2|C_2|} - 1 \right)^2 \right]^{1/2} \quad (85)$$

หรือ

$$|\Gamma_2|_{opt} = \frac{B_2}{2|C_2|} - \left[\left(\frac{B_2}{2|C_2|} - 1 \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\text{ซึ่ง } B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |D_s|^2$$

$$C_2 = S_{22} - D_s S_{11}^*$$

$$(\Gamma_2)_{opt} = |\Gamma_2|_{opt} / \phi_{opt} \quad (86)$$

ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสุดท้าย คือ (86) จาก (83) จะเห็นได้ว่าค่า ϕ_{opt} คือ มุมของ C_2^* เพื่อจะให้ $|\Gamma_2|_{opt}$ เป็นจำนวนจริง, $\frac{B_2}{2|C_2|} > 1$ ถ้าทรานซิสเตอร์เป็นเสถียรภาพแบบ

สมบรูณ์ (inherently stable) จาก B_2 จะเห็นว่าค่าลบของค่ารากที่สองจะใช้ใน (85) ดังนั้น $|\Gamma_2|_{opt} < 1$

ค่าโอเพอร์เรทีงเพอร์เวอร์เกน สูงสุด จะหาได้โดยการแทน (85) ใน (84) ผลที่ได้คือ

$$(G'_\rho)_{max} = \frac{|S_{21}|}{|S_{12}|} (K - \sqrt{K^2 - 1}) \quad (87)$$

ซึ่ง K คือค่าที่ได้จาก (68) และค่าลบของค่ารากที่สอง คือ ผลลัพธ์โดยตรงของเครื่องหมายที่ต้องการ ใน (85) สำหรับ $|\Gamma_2|_{opt}$ ค่า $\frac{|S_{21}|}{|S_{12}|}$ จะเรียกว่าการได้เปรียบเชิงกำลังงานสูงสุด (MSG)

สำหรับการเข้าสู่ของคอนจูเกตที่อินพุทเพื่อที่จะได้ค่าเพอร์เวอร์ทรานสเฟอร์ (power transfer) ของทรานซิสเตอร์ สูงสุดนั้น, $S'_{11} = 0$ ดังนั้น จาก (6)

$$(1 - (\Gamma_2)_{opt}) [S_{11} - (\Gamma_1)_{opt}^*] + (\Gamma_2)_{opt} S_{12} S_{21} = 0$$

แก้สมการหาค่า $(\Gamma_1)_{opt}$ จะได้

$$(\Gamma_1)_{opt} = \left[S_{11} + \frac{(\Gamma_2)_{opt} S_{12} S_{21}}{1 - (\Gamma_2)_{opt} S_{22}} \right]^* \quad (88)$$

จำนวนที่อยู่ใน [] คือสัมประสิทธิ์การสะท้อน $(\Gamma_{in})_{opt}$ ของ อินพุทอิมพีแดนซ์ของทรานซิสเตอร์ ดังนั้น

$$(\Gamma_{in})_{opt} = S_{11} + \frac{(\Gamma_2)_{opt} S_{12} S_{21}}{1 - (\Gamma_2)_{opt} S_{22}} \quad (89)$$

จากบทที่ 2 เราทราบว่าทรานซิสเตอร์ที่ทำงานที่ เพอร์เวอร์สูงสุด และมีอินพุทคอนจูเกตแมทซ์จะมีเอาท์พุทคอนจูเกตแมทซ์ด้วย ดังนั้นให้ $S'_{22} = 0$ ใน (9) และแก้สมการหาค่า $(\Gamma_2)_{opt}$ จะได้

$$(\Gamma_2)_{opt} = \left[S_{22} + \frac{(\Gamma_1)_{opt} S_{12} S_{21}}{1 - (\Gamma_1)_{opt} S_{11}} \right]^* \quad (90)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$(\Gamma_{out})_{opt} = S_{22} + \frac{(\Gamma_1)_{opt} S_{12} S_{21}}{1 - (\Gamma_1)_{opt} S_{11}} \quad (91)$$

วงกลมเพอร์เวอร์เกนค่าของ การทำงานคือ

$$G'_p = \frac{|S'_{21}|^2}{1 - |S'_{11}|^2} = \frac{|S_{21}|^2 |1 - |\Gamma_2|^2|}{1 - |S_{11}|^2 + |\Gamma_2|^2 (|S_{22}|^2 - |D_s|^2) - 2 \text{Re}(\Gamma_2 C_2)}$$

อาจเขียนได้เป็น

$$G'_p = |S_{21}|^2 g_2 \quad (92)$$

ซึ่ง

$$g_2 = \frac{|1 - |\Gamma_2|^2|}{|1 - |S_{11}|^2 + |\Gamma_2|^2 (|S_{22}|^2 - |D_s|^2) - 2 \text{Re}(\Gamma_2 C_2)|} \quad (93)$$

และ

$$C_2 = S_{22} - D_s S_{11}^* \quad (94)$$

สำหรับ โอปอเรียทิงเพอร์เวอร์เกนที่มีค่าคงที่

$$g_2 = \frac{G'_p}{|S_{21}|^2} \quad (95)$$

ให้ $\Gamma_2 = U_2 + jV_2$ และใช้ $\text{Re}(\Gamma_2 C_2) = U_2 \text{Re} C_2 - V_2 \text{Im} C_2$ เราจะได้

$$(U_2 - U_{2c})^2 + (V_2 - V_{2c})^2 = \rho_{2c}^2 \quad (96)$$

ซึ่งมี

$$U_{2c} = \frac{g_2 \text{Re} C_2^*}{1 + g_2 (|S_{22}|^2 - |D_s|^2)} \quad (97)$$

$$V_{2c} = \frac{g_2 \text{Im} C_2^*}{1 + g_2 (|S_{22}|^2 - |D_s|^2)} \quad (98)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho_{2c} = \frac{\left(1 - 2K|S_{12}S_{21}|g_2 + |S_{12}S_{21}|^2 g_2^2\right)^{1/2}}{1 + g_2\left(|S_{22}|^2 - |D_s|^2\right)} \quad (99)$$

และ

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |D_s|^2}{2|S_{12}S_{21}|} \quad (100)$$

จุดศูนย์กลางของวงกลมเพอร์เวอร์เกนจะอยู่บนเส้นที่มีมุม (101)

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\text{Im} C_2^*}{\text{Re} C_2^*} \quad (101)$$

ซึ่งก็คือมุมของ C_2^* รัศมีจาก (99) จะได้มาจากการใช้ค่าเจาะจง

$$|S_{22} - D_s S_{11}^*|^2 = |S_{12}S_{21}|^2 + (1 - |S_{11}|^2)(|S_{22}|^2 - |D_s|^2)$$

จุดศูนย์กลางจะอยู่ที่ (102)

$$\Gamma_{2c} = U_{2c} + jV_{2c} = \frac{g_2 C_2^*}{g_2(|S_{22}|^2 - |D_s|^2)} \quad (102)$$

ความไม่เสถียรจะมีค่าโอเพอร์เรตังเพอร์เวอร์เกนเป็น ∞ หรือ $g_2 = \infty$ ดังนั้น ให้ค่า g_2 เข้าสู่ ∞ ใน (99) และ (102) จะทำให้เกิดรัศมี ρ_2 และจุดศูนย์กลาง Γ_2 ของวงกลมเสถียรที่กล่าวมาแล้วใน ส่วน 4.3.1.2

ค่าโอเพอร์เรตังเพอร์เวอร์เกนสูงสุดจะเกิดที่จุดในระนาบ Γ_2 ที่มีรัศมี $\rho_{2c} = 0$ ดังนั้น จาก (99) มี $g_2 = g_{20}$ จะได้

$$g_{20}^2 - \frac{2K}{|S_{12}S_{21}|} g_{20} + \frac{1}{|S_{12}S_{21}|^2} = 0 \quad (103)$$

ดังนั้น จะได้

$$g_{20} = \frac{1}{|S_{12}S_{21}|} \left(K - \sqrt{K^2 - 1} \right) \quad (104)$$

หลังจากแทน (104) ใน (92) ค่าโอเพอร์เรตังเพอร์เวอร์เกน สูงสุดจะเหมือนกับ (87)

4.3.3 ซิมัลแทนเนียสคอนจูเกตแมทช์ (Simultaneous Conjugate Matching)

ถ้าวงจร 2 คู่สายมีการเข้าคู่ของคอนจูเกตทั้ง 2 คู่สายพร้อมกันจะได้ว่า $S'_{11} = 0$ และ $S'_{22} = 0$ ค่าปลายสุดท้ายสำหรับเงื่อนไขของการเข้าคู่นี้จะต้องมีสัมประสิทธิ์การสะท้อน Γ_{1m} และ Γ_{2m}

เพื่อที่จะทำให้ $S'_{11} = 0$ และ $S'_{22} = 0$ ด้วย $\Gamma_1 = \Gamma_{1m}$ และ $\Gamma_2 = \Gamma_{2m}$ ตัวเศษของ (6) และ (9) ต้องเท่ากับ 0 ดังนั้น

$$(1 - \Gamma_{2m} S_{22})(S_{11} - \Gamma_{1m}^*) + \Gamma_{2m} S_{12} S_{21} = 0 \quad (105)$$

และ

$$(1 - \Gamma_{1m} S_{22})(S_{22} - \Gamma_{2m}^*) + \Gamma_{1m} S_{12} S_{21} = 0 \quad (106)$$

ตัดค่า Γ_{1m} และ Γ_{2m} ออกจาก (105) และ (106) จะได้

$$\Gamma_{2m}^2 - \Gamma_{2m} \frac{B_2}{C_2} + \frac{C_2^*}{C_2} = 0 \quad (107)$$

และ

$$\Gamma_{1m}^2 - \Gamma_{1m} \frac{B_1}{C_1} + \frac{C_1^*}{C_1} = 0 \quad (108)$$

ซึ่งมี

$$B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |D_s|^2 = \text{real number} \quad (109)$$

$$B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |D_s|^2 = \text{real number} \quad (110)$$

$$C_1 = S_{11} - S_{22}^* D_s \quad (111)$$

และ

$$C_2 = S_{22} - S_{11}^* D_s \quad (112)$$

เนื่องมาจากความเหมือนกันของ (107) และ (108) พิจารณา

$$\Gamma_{im}^2 - \Gamma_{im} \frac{B_i}{C_i} + \frac{C_i^*}{C_i} = 0 \quad (113)$$

ซึ่ง i เป็นได้ทั้งค่า 1 และ 2 และค่า B_i, C_i ใช้ (109) - (112)

เมื่อใช้สูตรกำลังสองจะได้คำตอบสำหรับ (113) คือ

$$\Gamma_{im} = \frac{C_i^*}{|C_i|} \left\{ \frac{B_i}{2|C_i|} - \left[\left(\frac{B_i}{2|C_i|} \right)^2 - 1 \right]^{1/2} \right\} \quad (114)$$

จาก (114) จะได้ว่า ถ้า $B_i/2|C_i| < 1$ แล้ว $|\Gamma_{im}| = 1$ ดังนั้นค่าความต้านทานของแหล่งกำเนิดและโหลดเป็นศูนย์ ถ้า $B_i/2|C_i| > 1$ คำตอบหนึ่ง (จาก 2 คำตอบ) สำหรับ Γ_{im} จะมีขนาดใหญ่กว่า 1 และอีกคำตอบจะมีขนาดเล็กกว่า 1 เราจะนำคำตอบที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไปใช้ประโยชน์และจะได้คำตอบนี้จาก (114) โดยใช้เครื่องหมายลบ

ค่าของ Γ_{im} จาก (114) จะมีค่าเท่ากับ $(\Gamma_1)_{opt}$ และ $(\Gamma_2)_{opt}$ ที่ใช้สำหรับค่าโอเพอร์เรทิงเพอร์เวอร์เกนสูงสุด และเพอร์เวอร์ทรานสเฟอร์ (power transfer) สูงสุด

4.3.4 การออกแบบโดยใช้ทรานซิสเตอร์ที่เป็นไปได้ที่จะไม่เสถียรภาพ (Design Using Potentially Unstable Transistor)

ขั้นตอนการออกแบบจะถูกใช้มากขึ้นเมื่อทรานซิสเตอร์ที่เป็นไปได้ที่จะไม่เสถียรภาพ วงกลมเสถียรของวงจรรเอาท์พุทเขียนอยู่บนสมิทธาร์ดเมื่อเลือกค่าเพอร์เวอร์เกนแล้วเราก็เขียนวงกลมเพอร์เวอร์เกนเลือกค่า Γ_2 ที่จุดบนวงกลมเพอร์เวอร์เกนที่ไม่ได้อยู่ในส่วนที่ไม่เสถียร แต่อยู่ในพื้นที่ส่วนที่เสถียร ถ้าเราทราบค่า Γ_2 พิกัดของสมิทธาร์ดจะให้ค่าอิมพีแดนซ์โหลดคิมพีแดนซ์ (normalized load impedance) จากนั้นเลือกสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแหล่งกำเนิด ถ้าที่วงจรอินพุท สามารถใช้คอนจูเกตแมทซ์ได้คำนวณ

$$\Gamma_1 = \left(S_{11} + \frac{\Gamma_2 S_{12} S_{21}}{1 - \Gamma_2 S_{22}} \right)^* \quad (115)$$

เพื่อจะตัดสินใจว่าค่า Γ_1 ใช้ได้หรือไม่ให้วาดวงกลมเสถียรของวงจรรเอาท์พุท และลงตำแหน่ง Γ_1 ค่า Γ_1 จะใช้ได้เมื่อมันไม่ได้อยู่ในพื้นที่ไม่เสถียรของวงจรรเอาท์พุท หรือไม่ได้อยู่ใกล้วงกลมเสถียรของวงจรรเอาท์พุทมากค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน ที่อยู่ใกล้วงจรรเอาท์พุทมาก ๆ อาจจะเคลื่อนเข้าไปในพื้นที่ส่วนที่ไม่เสถียรเมื่อเกิดการปรับขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ด้วยทรานซิสเตอร์ย่านไมโครเวฟ
(MICROWAVE TRANSISTOR OSCILLATOR DESIGN)

ในบทนี้กล่าวถึงเทคนิคการวิเคราะห์ที่นำมาใช้ในการออกแบบออสซิลเลเตอร์ความถี่สูง (negative-resistance oscillators) สัญญาณขนาดเล็กและใหญ่สเกดเตอร์ริงพาราเมเตอร์ให้ข้อมูลทั้งหมดซึ่งจำเป็นต่อการออกแบบ ออสซิลเลเตอร์ความถี่สูง (negative-resistance oscillators)

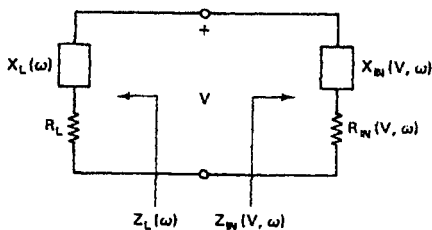
ในออสซิลเลเตอร์ความถี่สูงเราจะเกี่ยวข้องกับวงจรแมทซ์ ซึ่งกับวงจร 2 คู่สายที่ปลายแมทซ์ และโหลดวงจรแมทซ์ที่โหลดเป็นวงจรซึ่งเป็นตัวกำหนดความถี่ของการสั่น และถูกใช้ในการเตรียมเกี่ยวกับการแมทซ์

แบบของการต่อและวงจรแมทซ์ที่โหลดต้องทำอย่างระมัดระวัง เช่น เงื่อนไข $|\Gamma_{IN}| > 1$ คือสิ่งจำเป็นสำหรับการสั่น, การวัดวงจรที่ปลายของพอร์ตสามารถผลิต $|\Gamma_{IN}| > 1$ อย่างไม่ก็ตามไม่มีกำลังที่ถูกส่งไปยังปลายที่วัดวงจร

ในระดับความถี่ของไมโครเวฟ กลุ่มของอนุภาค Colpitts, Hartley และ Clapp ซึ่งออสซิลเลเตอร์ ใช้เป็นประโยชน์ร่วมกัน

5.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูงแบบ 1 คู่สาย (ONE-PORT NEGATIVE-RESISTANCE OSCILLATOR)

โดยทั่วไปแผนผังทางไฟฟ้าสำหรับวงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูงแบบ 1 คู่สาย ถูกแสดงในรูปที่ 5.1 อุปกรณ์ของความถี่สูง (negative resistance) ถูกแสดงให้เห็นโดยอิมพีแดนซ์ที่แปรตามความถี่และแอมพลิจูด



รูปที่ 5.1 แสดงแผนผังทางไฟฟ้าของวงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูงแบบ 1 คู่สาย

$$Z_{in}(V, \omega) = R_{IN}(V, \omega) + jX_{IN}(V, \omega) \text{ เมื่อ } R_{IN}(V, \omega) < 0$$

ออสซิลเลเตอร์ถูกสร้างโดยเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์พาสซีฟโพลคิมพีแคนซ์

$$Z_L(\omega) = R_L + jX_L(\omega)$$

บทบรรยายใน หัวข้อ 3.3 แสดงว่าวงจร 1 คู่สายในรูปที่ 5.1 จะเสถียรถ้า

$$\text{Re}[Z_{IN}(V, \omega) + Z_L(\omega)] > 0$$

และวงจรจะออสซิลเลท เมื่อ

$$\Gamma_{IN}(V, \omega)\Gamma_L(\omega) = 1$$

เงื่อนไขการออสซิลเลทสามารถแสดงในแบบ

$$R_{IN}(V, \omega) + R_L = 0 \quad (1)$$

และ

$$X_{IN}(V, \omega) + X_L(\omega) = 0$$

เป็นลักษณะเฉพาะทั้งอุปกรณ์ถูกกำหนดให้เป็น ไม่เสถียรที่ความถี่ในช่วง $\omega_1 < \omega < \omega_2$ ถ้า $R_{IN}(V, \omega) < 0$ ในระดับ ω_0 บางระดับ วงจร 1 คู่สายจะไม่เสถียรถ้า ความต้านทานสุทธิของวงจรเป็นลบ นั่นคือ เมื่อ

$$|R_{IN}(V, \omega_0)| > R_L \quad (2)$$

การกระตุ้นชั่วขณะเป็นระยะ ๆ การรบกวนในวงจรจะเริ่มการออสซิลเลทที่ความถี่ ω_0 ซึ่งค่ารีซีสแตนซ์ของวงจรเท่ากับ 0 กล่าวคือ

$$X_L(\omega_0) = -X_{IN}(V, \omega_0) \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ω_0 กระแสไหลที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านวงจร และการออสซิลเลทจะสะสมต่อไปนานเท่าไร ชีตแดนซ์ที่เป็นลบแอมพลิจูดของแรงดันต้องมีค่าสถานะอิมิตัว(steady - state) เรียกว่า V_0 ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อลูปริชีตแดนซ์เป็น 0 เงื่อนไขที่เป็นไปตาม (1) และ (2) อิมิตีแดนซ์ $Z_{IN}(V, \omega)$ จะต้องขึ้นอยู่กับ แอมพลิจูด ดังนั้นที่ $V = V_0$ เราสามารถเขียนได้ว่า

$$R_{IN}(V_0, \omega_0) + R_L = 0 \quad (4)$$

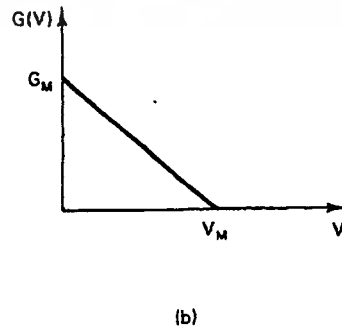
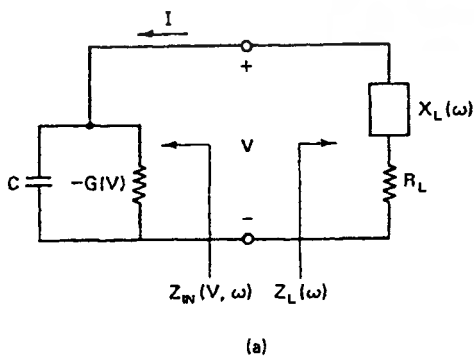
ความถี่ของการออสซิลเลท กำหนดโดย (3) ซึ่งจะไมคงที่ เพราะ $X_{IN}(V, \omega_0)$ แปรตามแอมพลิจูด นั่นคือ $X_{IN}(V_1, \omega_0) \neq X_{IN}(V_0, \omega_0)$

V_1 คือ arbitrary voltage ดังนั้นมันจำเป็นที่ต้องหาเงื่อนไขอื่นเพื่อสนับสนุน ถ้าความถี่ไม่อิสระของ $Z_{IN}(V, \omega)$ สามารถละลายได้สำหรับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยรอบ ω_0 ซึ่งมีแสดงเงื่อนไขสำหรับการออสซิลเลทที่คงที่ คือ

$$\left. \frac{\partial R_{IN}(V, \omega)}{\partial V} \right|_{V=V_0} \left. \frac{dX_L(\omega)}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_0} - \left. \frac{\partial X_{IN}(V, \omega)}{\partial V} \right|_{V=V_0} \left. \frac{dR_L(\omega)}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_0} > 0 \quad (5)$$

ในทางตรงกันข้ามความถี่ของการสั่นกำหนดโดย (3) และ (4) เป็น เสถียรเท่านั้น ถ้า (5) ถูกต้องตามเงื่อนไข $\frac{dR_L(\omega)}{d\omega} = 0$ (R_L เป็นค่าคงที่) และ (5) ง่ายขึ้นตามนั้น

ตัวอย่าง 5.1 อุปกรณ์ความต้านทานเชิงลบสามารถจำลองโดยต่อขนานรวมกันของคาปาซิเตอร์และความนำเชิงลบซึ่งแสดงในรูปที่ 5.2a ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของและความนำเชิงลบ(negative conductance) แสดงในรูปที่ 5.2b ถูกแสดงโดย



รูปที่ 5.2 (a) อุปกรณ์ความต้านทานเชิงลบ (b) การปรับแอมพลิจูดของ $G(V)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G(V) = G_M \left(1 - \frac{V}{V_M} \right) \quad (6)$$

การออกแบบวงจรโหลด Z_L เตรียมการออสซิลเลทที่ ω_0 และคำนวณกำลังเอาต์พุต
วิธีทำ

$$Z_{IN}(V, \omega) = R_{IN}(V, \omega) + jX_{IN}(V, \omega) = \frac{-G(V)}{G^2(V) + \omega^2 c^2} + j \frac{-\omega c}{G^2(V) + \omega^2 c^2} \quad (7)$$

จาก (3) ถึง (5) จะ ออสซิลเลทคงที่ ที่ $\omega = \omega_0$ เกิดเมื่อ

$$R_L = \frac{G(V)}{G^2(V) + \omega^2 c^2} \Big|_{\omega = \omega_0, V = V_0} \quad (8)$$

$$X_L(\omega) = \frac{\omega c}{G^2(V) + \omega^2 c^2} \Big|_{\omega = \omega_0, V = V_0} \quad (9)$$

และ

$$\frac{\partial R_{IN}}{\partial V} \Big|_{V = V_0} \frac{dX_L}{d\omega} \Big|_{\omega = \omega_0} \quad (10)$$

เมื่อ V_0 เป็นระดับแรงดันการออสซิลเลทที่ความถี่ของการออสซิลเลท ω_0 แทน (6) ใน (7)
จะได้ R_{IN}

$$R_{IN} = \frac{-(1/G_M)(1 - V/V_M)}{(1 - V/V_M)^2 + \omega^2 c^2 / G_M^2} \quad (11)$$

หาอนุพันธ์ (11) เทียบ V

$$\frac{\partial R_{IN}}{\partial V} = \frac{-1 + 2(V/V_M) - V^2/V_M^2 + \omega^2 c^2 / G_M^2}{G_M V_M [(1 - V/V_M)^2 + (\omega^2 c^2 / G_M^2)]^2} \quad (12)$$

และแทน (12) ใน (10) จะ ได้ความถี่ของ

$$\left. \frac{dX_L}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_0} = \left[-1 + 2 \frac{V}{V_M} - \frac{V^2}{V_M^2} + \frac{\omega^2 C^2}{G_M^2} \right]_{V=V_0} > 0 \quad (13)$$

ไม่มีวิธีตรงสำหรับการแก้ R_L และ X_L จาก (8), (9) และ (13) ดังนั้นออกแบบอื่น ๆ ถูกนำมาคำนึงถึง เช่น กำลังที่มากส่งไปยัง R_L ต้องถูกนำเข้ามากระแสไฟฟ้าใน วงจรถูกกำหนดโดย

$$I = V(-G(V) + j\omega c) \quad (14)$$

และกำลังที่ออกมาถูกกำหนดโดยแทน (6) และ (8) ใน (11) จะได้

$$P = \frac{1}{2} V_M^2 \left(1 - \frac{G(V)}{G_M} \right)^2 G(V) \quad (15)$$

สมการ (15) สามารถทำให้มากที่สุดสำหรับ G ตาม

$$\frac{\partial P}{\partial G(V)} = \frac{1}{2} V_M^2 \left[1 - 4 \frac{G(V)}{G_M} + 3 \frac{G^2(V)}{G_M^2} \right] = 0$$

หรือ

$$\frac{G(V)}{G_M} = \frac{1}{3} \quad (16)$$

แทน (16) ใน (6) จะได้ $\frac{V}{V_M} = \frac{2}{3}$ (17)

ซึ่งเป็นแรงดันเอาต์พุตเมื่อกำลังมากที่สุดที่ออกมา (maximum output power) ถูกส่งไปยัง R_L ถ้า (17) ถูกหาค่าที่ $V = V_0$ และแทนกลับไปยัง (13)

ผลที่ตามมาจะได้

$$\left. \frac{dX_L}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_0} \left(\frac{\omega_0^2 c^2}{G_M^2} = \frac{1}{9} \right) > 0 \quad (18)$$

ตัวที่ไม่รู้ใน (8) คือ X_L ดังนั้น ความถี่ไม่อิสระ (frequency dependence) ของ X_L สามารถกำหนดง่าย ๆ ที่ ω_0

จาก (16), (8) และ (9) ค่าของ R_L และ $X_{L(\omega)}$ ซึ่งกำลังสูงสุดส่งไปยัง R_L ที่ ω_0 เป็น

$$R_L = \frac{G_M/3}{(G_M/3)^2 + \omega_0^2 c^2} \quad (19)$$

และ

$$X_L(\omega_0) = \frac{\omega_0 c}{(G_M/3)^2 + \omega_0^2 c^2} \quad (20)$$

ที่จุดนี้มันจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบถ้า R_L เป็นไปตามเงื่อนไข (2) เมื่อระดับความกว้างของคลื่น (amplitude level) เป็น 0 (คือ การเริ่มเงื่อนไข oscillation) ดังนั้น การใช้ (11) และ (19) เราจะได้

$$|R_{IN}(V, \omega_0)|_{V=0} > R_L$$

เมื่อ

$$\frac{\omega_0 c}{G_M} > \frac{1}{\sqrt{3}}$$

ถ้าเราพิจารณาอัตราส่วนของ R_L ต่อ $|R_{IN}(0, \omega_0)|$, เราจะได้

$$\frac{R_L}{|R_{IN}(0, \omega_0)|} = 3 \frac{1 + (\omega_0 c / G_M)^2}{1 + 9(\omega_0 c / G_M)^2} \quad (21)$$

ถ้า $\omega_0 c / G_M$ มาก , (21) สามารถประมาณได้

$$\frac{R_L}{|R_{IN}(0, \omega_0)|} \approx \frac{1}{3} \quad (22)$$

ความสัมพันธ์ (22) ให้แบบที่ดีในการแนะนำสำหรับการเลือก R_L นั่นคือ ขอมให้

$$R_L = \frac{1}{3} |R_{IN}(0, \omega_0)| \quad (23)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก (20) ความถี่ของการออสซิลเลท ω_0 คือ

$$X_L(\omega_0) \approx \frac{1}{\omega_0 C} \quad (24)$$

และจาก (18)

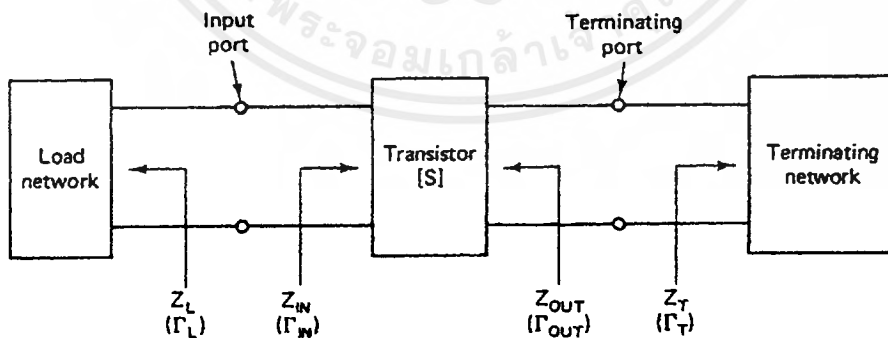
$$\left. \frac{dx_L}{d\omega} \right|_{\omega = \omega_0} > 0 \quad (25)$$

จะเห็นได้ว่าอินดักเตอร์ (inductor) ($X_L = \omega_L$) เป็นไปตาม (24) และ (25) และ ω_0 จะได้

$$\omega_0 \approx \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

5.2 วงจรออสซิลเลเตอร์ความต้านทานเชิงลบแบบ 2 คู่สาย (TWO-PORT NEGATIVE-RESISTANCE OSCILLATORS)

แบบโครงข่าย 2 คู่สายถูกแสดงอยู่ในรูปที่ 5.3 วงจร 2 คู่สายแสดงลักษณะโดย S พารามิเตอร์, ทรานซิสเตอร์, อิมพีแดนซ์ ที่ปลาย Z_T และโหลดอิมพีแดนซ์ Z_L



รูปที่ 5.3 แบบจำลองออสซิลเลเตอร์แบบ 2 คู่สาย

เมื่อวงจร 2 คู่สายเป็นไปได้อย่างไม่เสถียรสมควรที่ Z_T ของวงจร 2 คู่สายแทนเหมือนกับอุปกรณ์ความต้านทานเชิงลบกับ อินพุทอิมพีแดนซ์ Z_{in} ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5.1 เงื่อนไขสำหรับการ ออสซิลเลทที่คงที่ซึ่งกำหนดไว้ใน (3) ถึง (5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความต้านทานเชิงลบ ของ Z_{IN} เป็นฟังก์ชันของแรงดัน และทำให้กำลังออสซิลเลท เพิ่มขึ้น ความต้านทานเชิงลบ สามารถลดค่าให้ต่ำกว่า โหลดรีซิสแตนซ์ซึ่งเป็นจุดหยุดออสซิลเลท ปัญหานี้ ถูกกำจัดโดยการออกแบบขนาดของความต้านทานเชิงลบที่ $V = 0$ ซึ่งมากกว่าโหลดค่าที่ให้ใน (23) [คือ $|R_{IN}(0, \omega_0)| = 3R_L$] เป็นปกติที่ใช้ในการปฏิบัติ

เมื่อพอร์ตอินพุทถูกทำให้ออสซิลเลทที่ปลายพอร์ตจะออสซิลเลทด้วยความจริงที่ทั้งสอง พอร์ตออสซิลเลทสามารถพิสูจน์หรือทดลองได้

อินพุทพอร์ตออสซิลเลทเมื่อ

$$\Gamma_{IN} \Gamma_L = 1 \quad (26)$$

และจาก (3.5) และ (26) $\Gamma_L = \frac{1}{\Gamma_{IN}} = \frac{1 - S_{22} \Gamma_T}{S_{11} - \Delta \Gamma_T}$

หรือ

$$\Gamma_T = \frac{1 - S_{11} \Gamma_L}{S_{22} - \Delta \Gamma_L} \quad (27)$$

ดังนั้น จาก (3.6)

$$\Gamma_{OUT} = \frac{S_{22} - \Delta \Gamma_L}{1 - S_{11} \Gamma_L} \quad (28)$$

และจาก (27) และ (28) มันมีผลตามมาคือ

$$\Gamma_{OUT} \Gamma_T = 1$$

ซึ่งแสดงว่าปลายพอร์ตจะเกิดการออสซิลเลทด้วย

แบบการปฏิบัติสำหรับออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์แบบ 2 คู่สายคือ ดังต่อไปนี้

1. ใช้ทรานซิสเตอร์ที่สามารถไม่เสถียรที่ความถี่ของการออสซิลเลท ω_0
2. ออกแบบเทอร์มินึงเน็ตเวิร์ค(terminating network) ประมาณ $|\Gamma_{IN}| > 1$ การป้อนกลับแบบอนุกรมหรือ ขนานสามารถใช้เพิ่ม $|\Gamma_{IN}|$
3. ออกแบบโหลดเน็ตเวิร์ค (load network) ให้ รีโซแนนท์ (resonate) กับ Z_{IN} นั่นคือ

$$X_L(\omega_0) = -X_{IN}(\omega_0) \quad (29)$$

และ

$$R_L = \frac{|R_{IN}(0, \omega_0)|}{3} \quad (30)$$

แบบปฏิบัตินี้เป็นที่นิยม เนื่องจากระดับของความสำเร็งมีสูงอย่างไรก็ตามความถี่ของการออสซิลเลทจะเคลื่อนหรือเปลี่ยนบ้างจากค่าจากแบบของมันที่ ω_0 สิ่งนี้เกิดขึ้นเพราะว่ากำลังสั่นเพิ่มขึ้นจนกระทั่งความต้านทานเชิงลบไปเท่ากับ โหลดรีซิสแตนซ์และ X_{IN} เปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชัน ของ V (คือเป็น function ของกำลังการสั่น) ดังนั้นไม่มีความแน่นอนที่ออสซิลเลเตอร์จะให้กำลังสูงสุด

5.3 ออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ใช้การวัดสัญญาณขนาดใหญ่ (OSCILLATOR DESIGN USING LARGE -SIGNAL MEASUREMENTS)

ในส่วนนี้เป็นวิธีสองขั้นตอนเป็นพื้นฐานของการวัดสัญญาณขนาดใหญ่ซึ่งถูกพัฒนาสำหรับออกแบบออสซิลเลเตอร์

สัมประสิทธิ์การสะท้อน Γ_{IN} สำหรับ วงจรในรูปที่ 5.3

ถูกกำหนดโดย

$$\Gamma_{IN} = \frac{S_{11} - \Delta\Gamma_T}{1 - S_{22}\Gamma_T}$$

ซึ่งสามารถทำให้เป็นรูปแบบ

$$\Gamma_{IN} = \frac{S_{11} - \Delta S_{22}}{1 + |S_{22}|^2} + \frac{S_{12}S_{21}}{1 - |S_{22}|^2} \frac{\Gamma_T - S_{22}^*}{1 - S_{22}\Gamma_T} \quad (31)$$

$$= \Gamma_{IN,0} + \alpha\Gamma_T'$$

$$\Gamma_{IN,0} = \frac{S_{11} - \Delta S_{22}^*}{1 - |S_{22}|^2} \quad (32)$$

$$\alpha = \frac{S_{12}S_{21}}{1 - |S_{22}|^2} \frac{1 - S_{22}^*}{1 - S_{22}} \quad (33)$$

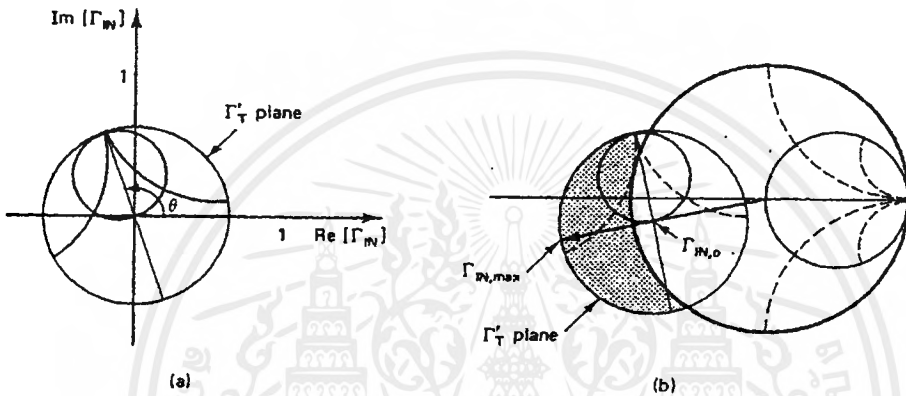
และ

$$\Gamma_T' = \frac{Z_T - Z_{22}^*}{2Z_T + Z_{22}} \quad (34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Z_{22} คือ อิมพีแดนซ์เกี่ยวข้องกับ S_{22}

วิธีการเขียนง่าย ๆ สามารถพัฒนาความสัมพันธ์ Γ_T กับ Γ_{IN} การแปลงใน (31) แสดงว่าขนาดของ Γ_T' ถูกเพิ่มโดย $|\alpha|$ และ เฟส ของ Γ_T' ถูกหมุนโดย $\angle \alpha$ เพราะว่า $\Gamma_{IN,0}$ คือค่าคงที่ในระนาบ Γ_{IN} การกระจายของมันคือ เลื่อนศูนย์กลางกลางของ Γ_T' ตัวอย่างการแปลงถูกแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.4 ที่ Γ_T' ใด ๆ ในพื้นที่แรเงาจะเป็นสาเหตุของการออสซิลเลเตอร์



รูปที่ 5.4 (a) การสเกลระนาบ Γ_T' ด้วย α ; (b) ตัวอย่างแมปจิงจากระนาบ Γ_T' ถึง Γ_{IN} ตาม(31)

จาก (31) $|\Gamma_{IN}|$ คือมากที่สุดเมื่อ $|\Gamma_T'| = 1$ และ $\alpha\Gamma_T'$ อยู่ในทิศของ $\Gamma_{IN,0}$ นั่นคือ

$$\Gamma_{IN,max} = \Gamma_{IN,0} + |\alpha|\hat{u}_{IN,0} \quad (35)$$

เมื่อ $\hat{U}_{IN,0}$ เป็น α ยูนิตเวกเตอร์ในทิศทางของ $\Gamma_{IN,0}$ ค่าของ $\Gamma_{IN,max}$ ถูกแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.4b

ค่าของ Γ_T ซึ่งมากที่สุด Γ_{IN} ถูกเรียกว่า $\Gamma_{T,0}$ ถูกกำหนดโดย

$$\Gamma_{T,0} = \frac{1 + (\hat{u}_{12} / \hat{u}_{IN,0}) S_{22}^*}{(\hat{u}_{12} / \hat{u}_{IN,0}) + S_{22}} \quad (36)$$

ซึ่ง \hat{u}_{12} คือ ยูนิตเวกเตอร์ในทิศทางของ $S_{12}S_{21}$ ความสัมพันธ์ของอินพุตและอิมพีแดนซ์ที่ปลายคือ

$$Z_{IN,max} = \frac{1 + \Gamma_{IN,max}}{1 - \Gamma_{IN,max}} \quad (37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

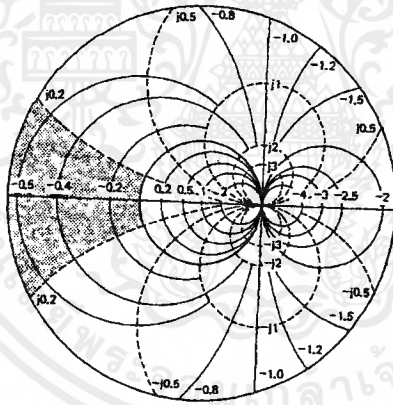
และ

$$Z_{T,0} = \frac{1 + \Gamma_{T,0}}{1 - \Gamma_{T,0}} \quad (38)$$

ค่าของ $\Gamma_{T,0}$ ใน (36) มีผลให้ Γ_{IN} ถึงขีดสุด ($\Gamma_{IN,max}$) ในทางตรงกันข้ามวงจร 2 คู่สาย ได้ลดความต้านทานเชิงลบที่สูงสุดของวงจร 1 คู่สายโดย สัมประสิทธิ์การสะท้อนสัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์

พารามิเตอร์สัญญาณขนาดเล็กของทรานซิสเตอร์ถูกใช้ตั้งแต่ Γ_{IN} ถึงขีดสุด แอมพลิฟูดขึ้นอยู่กัสัมประสิทธิ์การสะท้อนสัญญาณขนาดเล็ก

วงจรออสซิลเลเตอร์ความต้านทานเชิงแบบ 1 คู่สายสามารถอธิบายลักษณะ โดยการวัดอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ฟังก์ชันของกำลัง อินพุทที่ความถี่ ω_0 นี้คือลักษณะสัญญาณขนาดใหญ่ของวงจร 1 คู่สายซึ่งถูกเรียกว่า device-line characterization ด้วย



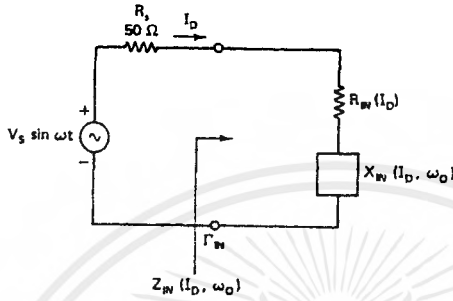
รูปที่ 5.5 ย่านที่ดีที่สุดสำหรับ $\Gamma_{IN,max}$

มันเป็นความคิดที่ดีทั้งสถานะ $\Gamma_{IN,max}$ ภายใต้ย่านแสดงไว้ในรูปที่ 5.5 ในย่านนี้สัมพันธ์กับ $|R_{IN,max}|$ คือ น้อยกว่า 50Ω และ $X_{IN,max}$ น้อยเหตุผลที่เลือกนี้ คือในแบบการปฏิบัติที่ดีตามมา เราจำเป็นที่จะทำการวัดที่พอร์ตอินพุทกับ 50Ω อิมพีแดนซ์แหล่งจ่ายคั้งนั้นอัตราส่วน $|R_{IN,max}| / X_{IN,max}$ มากกว่า Q

วิธีการอธิบายการกระตุ้นอิมพีแดนซ์ที่ปลายวงจร 2 คู่สายที่ค่าความต้านทานเชิงลบสูงสุด วงจร 1 คู่สายสามารถอธิบายโดยการวัดสัญญาณขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของสัญญาณขนานใหญ่รู้โดยการวัดในวงจรนี้แสดงไว้ในรูปที่ 5.6 กระแส I_D และ อิมพีแดนซ์ $Z_{IN}(I_D, \omega_0)$, และ V_s ถูกเปลี่ยนแปลงการวัดถูกทำที่ความถี่ที่ต้องการของการออสซิลเลท ω_0 , และ ความต้านทานแหล่งจ่ายคือ 50Ω $|R_{IN, \max}|$ ได้เลือกในย่านที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.5 วงจรใน รูปที่ 5.6 เป็นเสถียร



รูปที่ 5.6 วงจรวัดสัญญาณขนานใหญ่

ในวงจรที่แสดงใน รูปที่ 5.6 กระแส I_D ถูกกำหนดโดย

$$I_D = \frac{V_s}{R_s + R_{IN}(I_D) + jx_{IN}(I_D, \omega_0)} \quad (39)$$

และกำลังส่ง โดยความต้านทานเชิง $R_{IN}(I_D)$ คือ

$$P_D(\omega_0) = \frac{1}{2} |I_D|^2 R_{IN}(I_D)$$

การวัด P_D กับ $Z_{IN}(I_D, \omega_0)$ ก่อให้เกิดสัญญาณคุณลักษณะใหญ่ของวงจร 1 คู่สาย ถ้า วงจร 1 คู่สายที่ปลายมีโหลดอิมพีแดนซ์ (ดู รูปที่ 5.1)

$$Z_L(\omega_0) = -Z_{IN}(I_D, \omega_0)$$

กำลังส่งไปยัง Z_L ถูกกำหนดโดย $P_L(\omega_0) = P_D(\omega_0)$

การวัดของ I_D ที่ความถี่ไมโครเวฟมันยากดังนั้น ในทางปฏิบัติสัมประสิทธิ์การสะท้อน Γ_{IN} เป็นฟังก์ชันของกำลังที่สามารถหามาได้จากการประมาณกำลังสามารถหามาได้จากแหล่งถูกกำหนดโดย

$$P_{AVS} = \frac{V_S^2}{8R_S}$$

กำลังเพิ่ม P_{ADD} ถูกกำหนดโดย

$$P_{ADD} = P_{AVS} (|\Gamma_{IN}|^2 - 1)$$

และสามารถแสดงในรูป

$$P_{ADD} = \frac{V_S^2 |R_{IN}|}{2[(R_{IN} + R_S)^2 + X_{IN}^2]} \quad (40)$$

แทน (39) ใน (40) จะได้

$$P_{ADD} = \frac{|ID|^2}{2} |R_{IN}|$$

ซึ่งแสดงว่ากำลังเพิ่มคือ กำลังที่ 1 คู่สายจะส่งไปที่สาย $Z_L(\omega_0) = -Z_{IN}(I_D \omega_0)$ ลักษณะสัญญาณขนาดใหญ่ของ วงจร 1 คู่สายถูกก่อให้เกิดโดยการวัด Γ_{IN} และ P_{AVS} และการคำนวณ P_{ADD} กับ Z_{IN} เป็นฟังก์ชันของ I_D ที่ความถี่ที่ต้องการของการออสซิลเลท ω_0

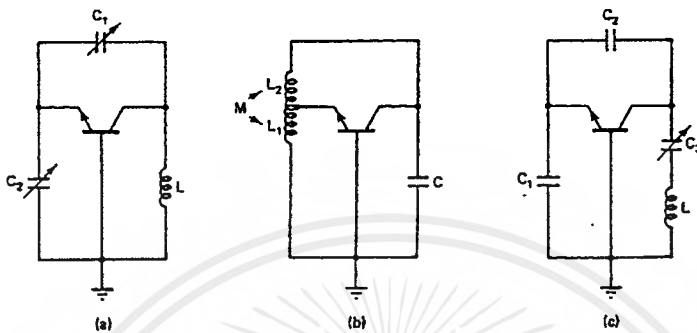
มีหลายวิธีที่จะสนับสนุนอิมพีแดนซ์ $Z_L(\omega_0)$ และแน่นอนไม่ใช่ทั้งหมดของมันที่จะมีผลให้การออสซิลเลทคงที่ สำหรับการออสซิลเลทคงที่สามารถตรวจสอบ $Z_L(\omega_0)$ ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่ให้ใน (5) วิธีนี้สามารถแสดงผลได้ง่าย เนื่องจากแอมพลิจูดขึ้นอยู่กับ $R_{IN}(I_D)$ สามารถได้จากการวัดข้อมูล และการเปลี่ยนอิมพีแดนซ์ที่ต้องการ(คือ $dX_L/d\omega < 0$) สามารถกำหนดได้

สรุปแบบการปฏิบัติใช้ S พารามิเตอร์สัญญาณขนานเล็กกระสุนอิมพีแดนซ์ที่ปลายได้ความต้านทานเชิงลบสูงสุดของวงจร 1 คู่สาย แล้ว วงจรออสซิลเลเตอร์แบบ 1 คู่สายถูกอธิบายโดยการวัดสัญญาณคุณลักษณะขนาดใหญ่

5.4 รูปแบบของวงจรออสซิลเลเตอร์ (OSCILLATOR CONFIGURATIONS)

ที่ระดับต่ำสุดของย่านความถี่ไมโครเวฟกลุ่มของวงจรออสซิลเลเตอร์ถูกใช้เป็นปกติตามรูปแบบพื้นฐานของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้คือ Colpitts, Hartley และ Clapp มันถูกแสดงไว้ในรูปที่

5.7 ในรูปแบบทรานซิสเตอร์พื้นฐานปกติ



รูปที่ 5.7 แสดงสามชนิดของรูปแบบเบสร่วม (common-base) (a) Colpitts ;(b) Hartley;

(c) Clapp

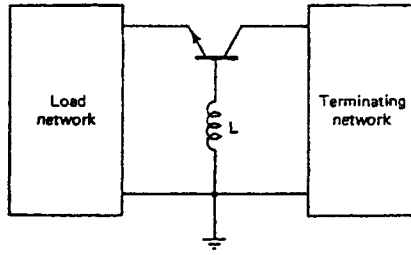
วงจร Colpitts ใช้คาปาซิเตอร์แบ่งแรงดัน ในวงจรทูน (tuned circuit) ให้การป้อนกลับ. วงจร Hartley ใช้ วงจรทูนแท็ปอินดักเตอร์ (tapped inductor tuned circuit) และ วงจร Clapp คือคล้าย วงจร Colpitts แต่มีพิเศษที่ คาปาซิเตอร์ต่ออนุกรมกับ อินดักเตอร์เพื่อปรับปรุงความถี่

High-Q tapped inductor ซึ่งจำเป็นใน วงจร Hartley หากที่จะทำคั้งนั้น วงจรออสซิลเลเตอร์แบบ Colpitts และ Clapp ถูกใช้ เป็นปกติ

ที่ความถี่ไมโครเวฟสูงกว่า (คือในย่านจิกะเฮิร์ต) คาปาซิเตอร์ที่เข้าของ ทรานซิสเตอร์ ให้ป้อนกลับบ้างหรือทั้งหมดที่จำเป็นต่อการออสซิลเลเตอร์ ในระดับนี้แบบการปฏิบัติความต้านทานเชิงลบถูกใช้ เนื่องจาก S พารามิเตอร์ให้ออกแบบข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดของทำให้เกิดความต้านทานเชิงลบ โดยพื้นฐานประกอบด้วย การเลือกทรานซิสเตอร์ในออสซิลเลเตอร์ topology ซึ่งให้กำลังเอาต์พุตที่ต้องการทรานซิสเตอร์ในรูปแบบที่เลือกโดยทั่วไปคือ ไม่เสถียรที่ความถี่ที่ต้องการของการออสซิลเลท การป้อนกลับสามารถเพิ่มความต้านทานเชิงลบโดยสัมพันธ์กับ Γ_{IN} หรือ Γ_{OUT} ปลายและ วงจรโหลดแมทซึ่งต้องถูกออกแบบให้จัดการสถานะ รีโซแนนซ์ ที่แท้จริง

สำหรับออสซิลเลเตอร์ความต้านทานเชิงลบ BJT เป็นประโยชน์มากที่สุด ในวงจร topology เป็นรูปแบบพื้นฐานปกติ รูปแบบนี้แสดงให้เห็นใน รูปที่ 5.8 ถูกใช้ในวงจร ออสซิลเลเตอร์กำลังต่ำ และมันง่ายในการทูลิมนต์อินดักป้อนกลับถูกใช้เพิ่ม $|\Gamma_{IN}|$ และ Γ_{OUT} รูปแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ (Common emitter) และคอมมอนคอลเลคเตอร์ (common-collectors) มีใช้ในไมโครเวฟออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

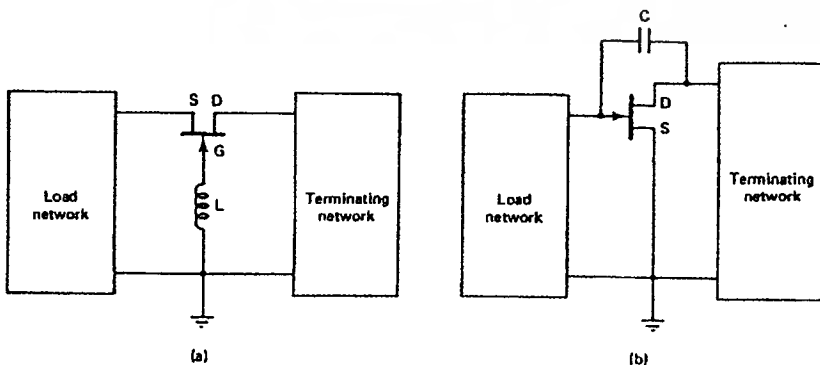


รูปที่ 5.8 รูปแบบคอมมอนเบส (common-base)

วงจรรูปแบบสองคอมมอนสำหรับ GaAs FETs ออสซิลเลเตอร์ ถูกแสดงในรูปที่ 5.9 รูปแบบคอมมอนเกต(common-gate) ถูกใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์กำลังต่ำเนื่องจากมันง่ายในการปรับ series inductive feedback ถูกกำหนดให้ Γ_{IN} และ Γ_{OUT} ทำให้ดีขึ้นรูปแบบคอมมอนซอร์ส (common-source) ถูกใช้สำหรับกำลังเอาต์พุตของออสซิลเลเตอร์ที่สูงกว่าและวงจรป้อนกลับเป็นคาพาซิเตอร์ปกติ รูปแบบคอมมอนเดรน (Common-drain) ไม่นิยมเพราะว่า เกิดการออสซิลเลทยาก

GaAs FET ออสซิลเลเตอร์สามารถสร้างใช้ reverse-channel ด้วยรูปแบบแสดงไว้ในรูปที่ 5.10 รูปแบบ reverse-channel ใช้ GaAs FET กับแรงดันลบประยุคต์ปลายเดรนทรานซิสเตอร์ กลายเป็นอุปกรณ์ noninverting ซึ่งเป็นการทำให้คอมมอนดีคอินดักแตนซ์เกิดขึ้นมาใหม่ S พารามิเตอร์ในรูปแบบ reverse-channel แสดงว่า $|S_{12}|$ ความถี่เพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดและ $|S_{11}|$ คือใหญ่กว่า 1 ในระดับความถี่ที่ใหญ่

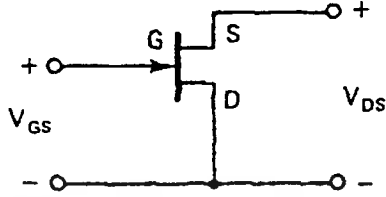
แสดงรูปแบบบางรูปแบบและอธิบายแผนการปฏิบัติบางแผนสำหรับออสซิลเลเตอร์นอยส์ต่ำ และ บัฟเฟอร์ออสซิลเลเตอร์ (buffered oscillators)



รูปที่ 5.9 (a) รูปแบบคอมมอนเกต (Common-gate) ;(b) รูปแบบคอมมอนซอร์ส (Common-source)

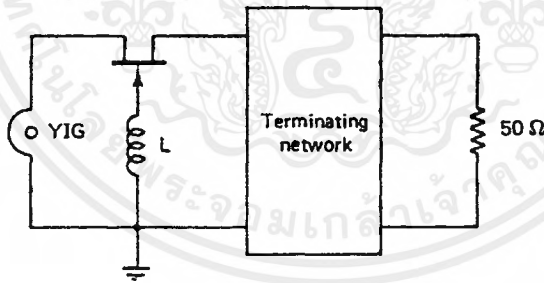
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดจูนนิ่ง (Load tuning) ไม่ถูกจำกัดให้หมด หรือวงจร RLC สามารถออกแบบการใช้ YIG (yttrium iron garnet)



รูปที่ 5.10 Reverse-channel GaAs FET.

YIG รีโซเนเตอร์ประกอบด้วย วัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (ferrimagnetic) ซึ่งสามารถจำลองโดย วงจรรีโซแนนซ์ RLC ขนาดค่าของอินдукแตนซ์สัมพันธ์กับแมกเนโตเซชันเชื่อมโยงและเส้นความกว้าง รีโซแนนซ์ของวง YIG และบนพื้นที่แม่เหล็ก dc ประยุกต์ พื้นที่แม่เหล็ก dc ที่เหมือนกันถูก ประยุกต์กับอิลคทรอแมกเนติกกับการออกแบบช่องอากาศเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากสนามแม่เหล็ก dc ที่ไม่มีรูปแบบเดียวกันเป็นผลในการปรับ hysteresis และ spurious ผลตอบสนองคอมมอนเกท GaAs FET ออสซิลเลเตอร์ ที่ใช้ YIG รีโซเนเตอร์ ถูกแสดงไว้ใน รูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 YIG ออสซิลเลเตอร์

วงจร YIG เป็นสายส่งคู่ที่แข็งแกร่งซึ่งเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์แอกทีฟสมมติว่า YIG ทรงกลมเต็ม ไปด้วยสนามแม่เหล็กตลอดเวลาและเส้นผ่านศูนย์กลางของวง คือ $\ll \lambda/4$ อุปกรณ์ YIG สามารถ จำลองโดยวงจรรีโซแนนซ์ขนาดแสดงไว้ใน รูปที่ 5.12 ค่าถูกกำหนดโดย

$$G_0 = \frac{d^2}{\mu_0 V \omega_m Q_u} + G_L$$

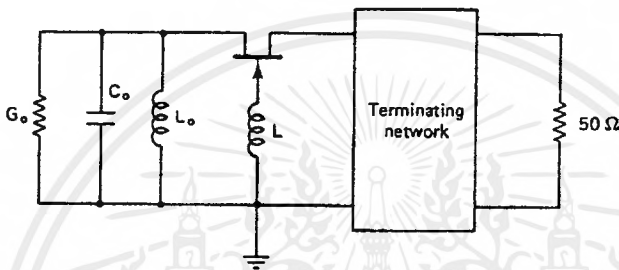
$$L_0 = \frac{\mu_0 V \omega_m}{\omega_0 d^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_0 = \frac{1}{\omega_0^2 L_0}$$

$$\omega_m = y8\pi^2 M_s$$

$$Q_u = \frac{H_0 - 4\pi M_s / 3}{\Delta H}$$



รูปที่ 5.12 วงจรออสซิลเลเตอร์ ของ YIG ออสซิลเลเตอร์

ที่ $4\pi M_s$ เต็มไปด้วยสนามแม่เหล็กของทรงกลม $\mu_0 = 4\pi(10^{-7})$ เฮนรี ต่อเมตร V คือ
ค่าของทรงกลม

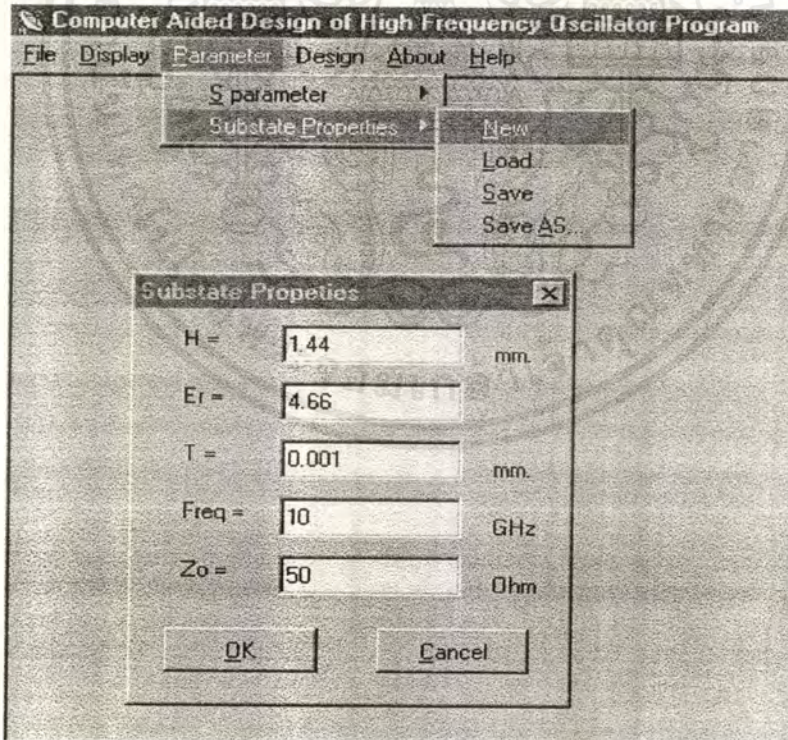
บทที่ 6

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์
(COMPUTER AIDED DESIGN)

6.1 การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ด้วยโปรแกรม

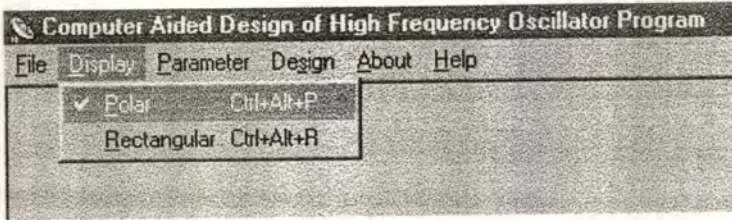
Computer aided design of high frequency oscillator เป็นโปรแกรมที่ช่วยออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูง ซึ่งเป็นออสซิลเลเตอร์แบบความต้านทานเชิงลบ โดยอาศัยการออกแบบด้วยสเกเตอร์ริงพารามิเตอร์(S parameter) และคุณสมบัติของแผ่นซับสเทท(Substate properties) ซึ่งสามารถเขียนขั้นตอนการออกแบบ ด้วยการใช้โปรแกรมดังนี้

1. ป้อนค่าสเกเตอร์ริงพารามิเตอร์(S parameter)โดยเข้าไปที่เมนู Parameter → S .parameter → New จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ ขึ้นมาให้ป้อนค่าสเกเตอร์ริงพารามิเตอร์ (S parameter) ซึ่งสามารถเลือกได้ว่าจะป้อนพารามิเตอร์แบบ Polar หรือRectamgular โดยเข้าไปที่เมนู Display → Polar หรือRectamgular ให้มีเครื่องหมายถูกอยู่ข้างหน้า (รูป6.2)



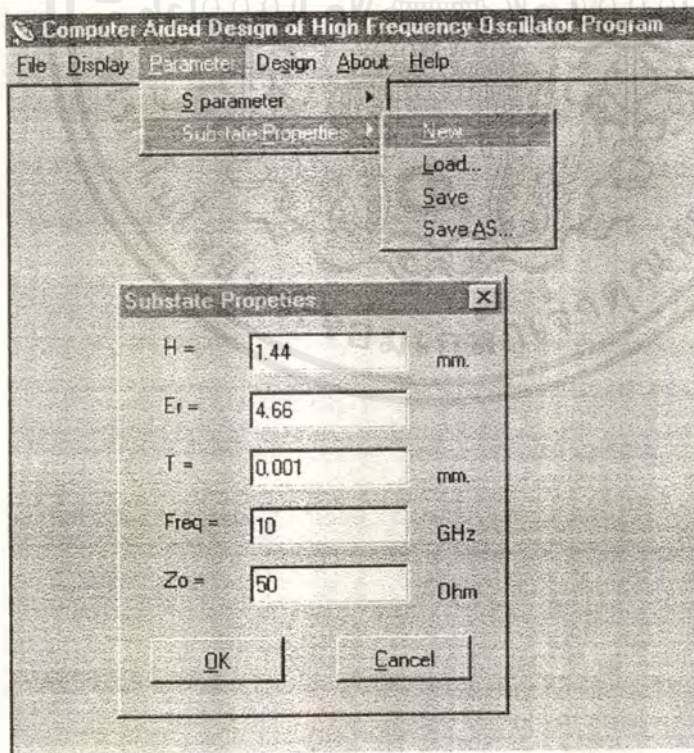
รูปที่ 6.1 แสดงเมนู S parameter

ในการป้อนค่าพารามิเตอร์ในไดอะล็อกบ็อกซ์สามารถที่จะโหลดไฟล์ที่มีนามสกุล *.SCO มาใส่ได้รวมทั้งสามารถที่จะบันทึกไฟล์เป็นนามสกุล *.SCO เก็บไว้ใช้ได้ด้วย
เมื่อใส่ค่าพารามิเตอร์ในไดอะล็อกบ็อกซ์ครบแล้วให้คลิกที่ปุ่ม OK



รูปที่ 6.2 แสดงเมนู Display

2. ป้อนค่าคุณสมบัติของแผ่นซับสเทท (Substate properties) โดยเข้าไปเมนู Parameter → Substate properties → New จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ขึ้นมาให้ป้อนค่าต่างๆ
การป้อนค่าพารามิเตอร์ในไดอะล็อกบ็อกซ์ สามารถโหลดไฟล์ที่มีนามสกุล *.KHO มาใส่ได้รวมทั้งสามารถที่จะบันทึกไฟล์เป็นนามสกุล *.KHO เก็บไว้ใช้ได้อีกด้วย

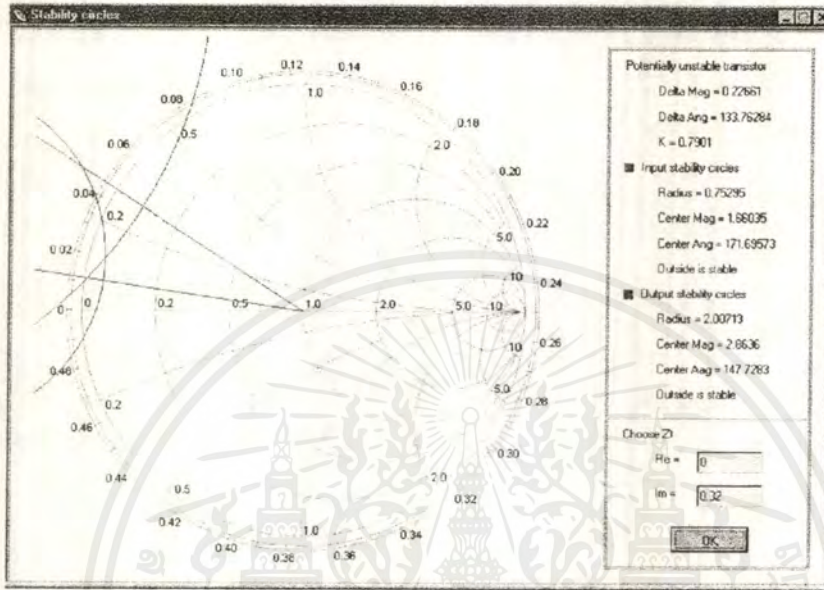


รูปที่ 6.3 แสดงเมนู Substate properties

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

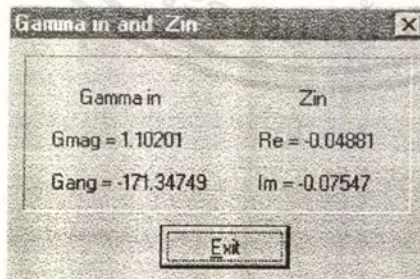
เมื่อใส่ค่าพารามิเตอร์ในไดอะล็อกบ็อกซ์ครบแล้วให้คลิกปุ่ม OK

3. ตรวจสอบค่าสเกเตอร์ริงพารามิเตอร์ว่าทำงานเป็น stable หรือ unstable และสามารถค่าสเกเตอร์ริงพารามิเตอร์ (S parameter) คำนวณไปใช้ในการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ได้หรือไม่ โดยเข้าไปเลือกที่เมนู Design → stability circles



รูปที่ 6.4 แสดง stability circles

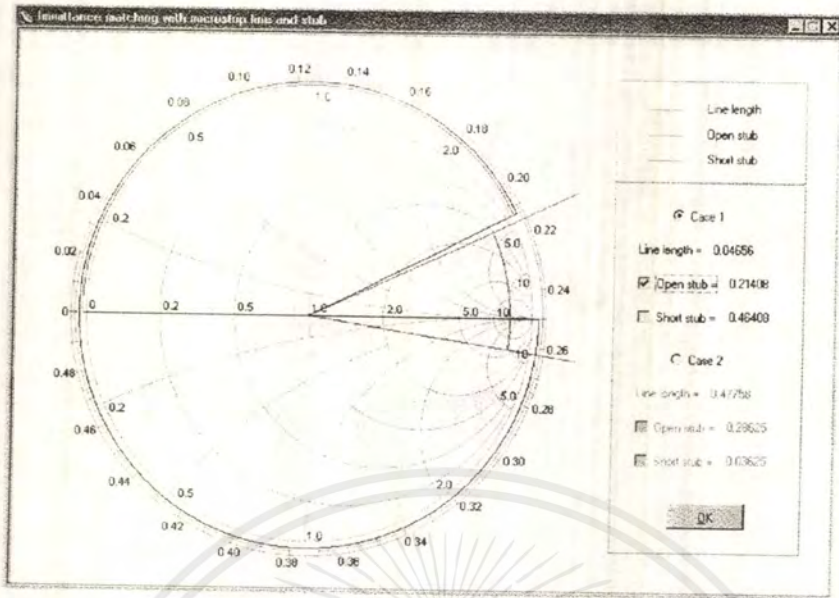
4. ตรวจสอบเงื่อนไขการเป็นวงจรรออสซิลเลเตอร์โดยการเข้าไปดูที่เมนู Design → stability circles จากนั้นเลือก Z_T จากสมิธชาร์ต เพื่อที่จะนำไปคำนวณและเช็คเงื่อนไขการเป็นวงจรรออสซิลเลเตอร์ แล้วคลิกที่ปุ่ม OK จะปรากฏค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่อินพุต (Γ_{in}) และ อิมพิแดนซ์ (Z_{in})



รูปที่ 6.5 เมนูแสดง Γ_{in} และ Z_{in}

5. การหาความยาวไลน์(line)และสตับ(stub) ของอิมมิแดนซ์แมตชิ่ง (immittance matching) โดยเข้าไปเลือกที่เมนู Design → Immittance matching จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ให้ป้อนค่า admittance เมื่อป้อนค่าแล้วคลิกปุ่ม OK บนไดอะล็อกบ็อกซ์จะปรากฏหน้าต่างการคำนวณความยาวของไลน์และ สตับขึ้น

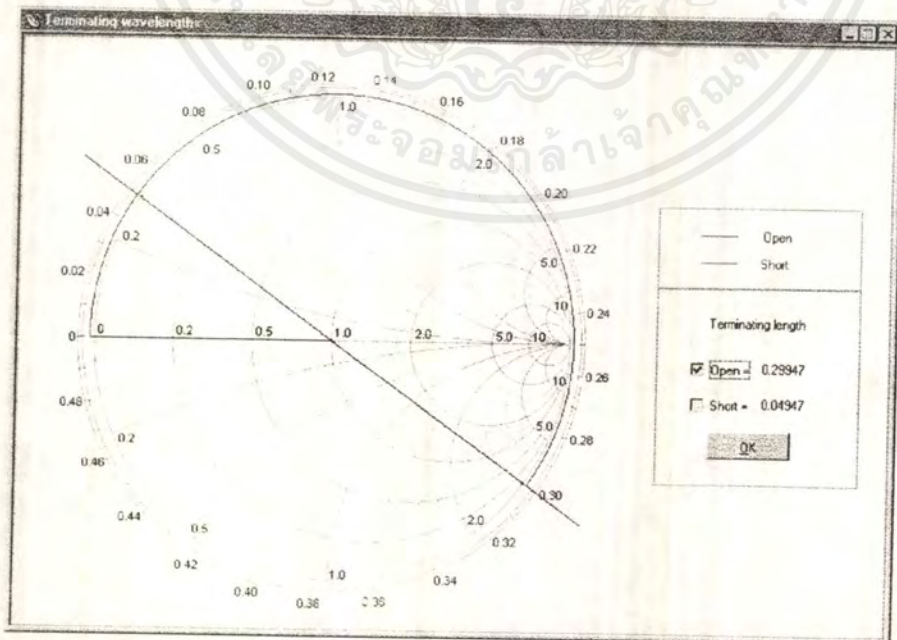
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 แสดงเมนู Impedance matching

ให้เลือก Case ที่จะนำไปใช้งานและเลือก สตับ(stub)ว่าจะใช้แบบ Open หรือ Short (เพื่อนำ Case ที่เลือกไปทำการประมวลผลต่อไป) เมื่อเลือกได้แล้วให้คลิกปุ่ม OK

6. การหาความยาวของส่วนเทอร์มินเนตติ้ง(Terminating port) โดยเข้าไปเลือกที่เมนู Design → Terminating จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ ให้ป้อนค่า Impedance เมื่อคลิกปุ่ม OK บนไดอะล็อกบ็อกซ์จะปรากฏหน้าต่างการหาความยาวของส่วนเทอร์มินเนตติ้ง(Terminating port)

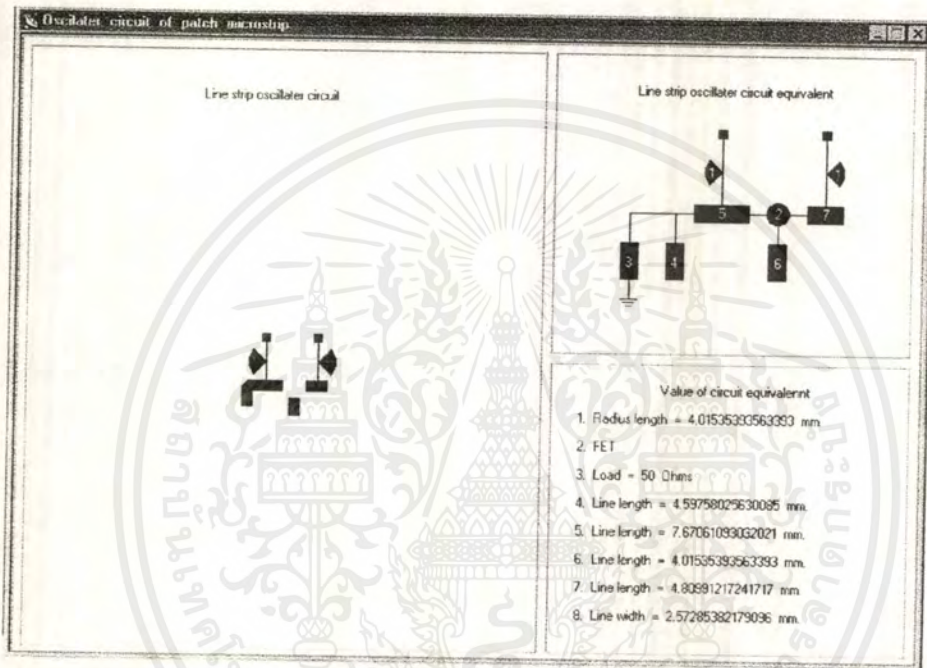


รูปที่ 6.7 แสดงเมนู Terminating port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เลือกความยาวของส่วนเทอร์มินาทิ่ง (Terminating port) เป็นแบบ Open stub หรือ Short stub แล้วคลิกปุ่ม OK

7. วงจรออสซิลเลเตอร์(Oscillator circuit) ที่ได้จากขั้นตอนการออกแบบข้างต้นจะแสดงโดยเข้าไปดูที่เมนู Design → Oscillator circuit จากนั้นจะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ ให้ป้อนค่าต่างๆ เมื่อคลิกปุ่ม OK บนไดอะล็อกบ็อกซ์ จะปรากฏหน้าต่างแสดงวงจรออสซิลเลเตอร์และค่าความยาวความกว้างของสตริปไลน์ (strip line) ให้ทราบ



รูปที่ 6.8 แสดงเมนู Oscillator circuit

6.2 เมนูย่อยที่ช่วยในการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์

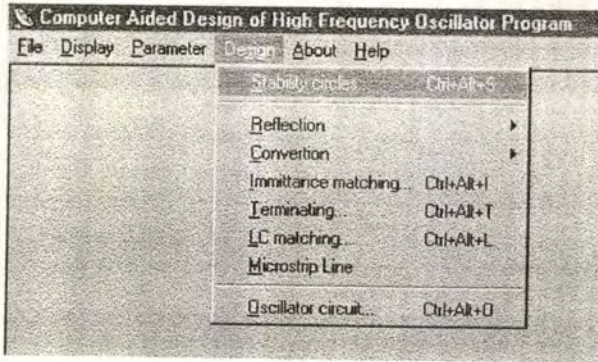
1.เมนู Design

1.1 Reflecion (Design → reflecion) เป็นเมนูที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ) ที่พอร์ตต่างๆของวงจรออสซิลเลเตอร์ โดยสามารถเลือกป้อนค่าเป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่โหลด (Γ_L) หรือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่เทอร์มินาทิ่ง (Γ_T)

1.2 Convection (Design → Convection) เป็นเมนูที่ใช้สำหรับการแปลงค่าระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Γ) กับอิมพีแดนซ์ (Z) และแอดมิตแดนซ์ (Y)

1.3 LC maching เป็นเมนูที่ช่วยออกแบบวงจร LC maching แทนการแมทชิงแบบสลับแมทชิง

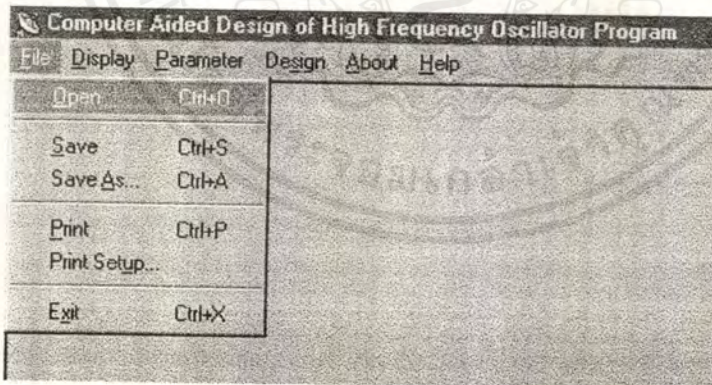
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.9 แสดงเมนู Design

2. เมนู File

- 2.1 Open ใช้เปิดค่าต่างๆ และภาพต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์
- 2.2 Save ใช้ในการบันทึกค่าต่างๆ และภาพต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ โดยใช้ชื่อไฟล์เดิม
- 2.3 Save As ใช้ในการบันทึกค่าต่างๆ และภาพต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์
- 2.4 Print ใช้ในการสั่งพิมพ์ข้อมูลต่างๆ
- 2.5 Print Setup ใช้ในการติดตั้งเครื่องพิมพ์
- 2.6 Exit ออกจากโปรแกรม



รูปที่ 6.10 แสดงเมนู File

3. เมนู About เป็นเมนูที่บอกเกี่ยวกับข้อมูลรายละเอียดของโปรแกรม
4. เมนู Help เป็นเมนูที่บอกถึงวิธีการใช้โปรแกรมในการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์แบบความต้านทานเชิงลบ

บทที่ 7

การสร้างชิ้นงานตัวอย่าง และการทดสอบวิเคราะห์ผลวงจรออสซิลเลเตอร์

7.1 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงาน (Process)

โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ออกแบบวงจรเฟตออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ 10 GHz โดยเลือกใช้เฟตแบบแกดเลียมอาซีน (GaAs FET) เบอร์ MGF 4310D ของบริษัท MITSUBISHI SEMICONDUCTOR ซึ่งมีค่าสเกตเตอร์ริงพารามิเตอร์ (S parameter) ที่ความถี่ 10 GHz ดังนี้

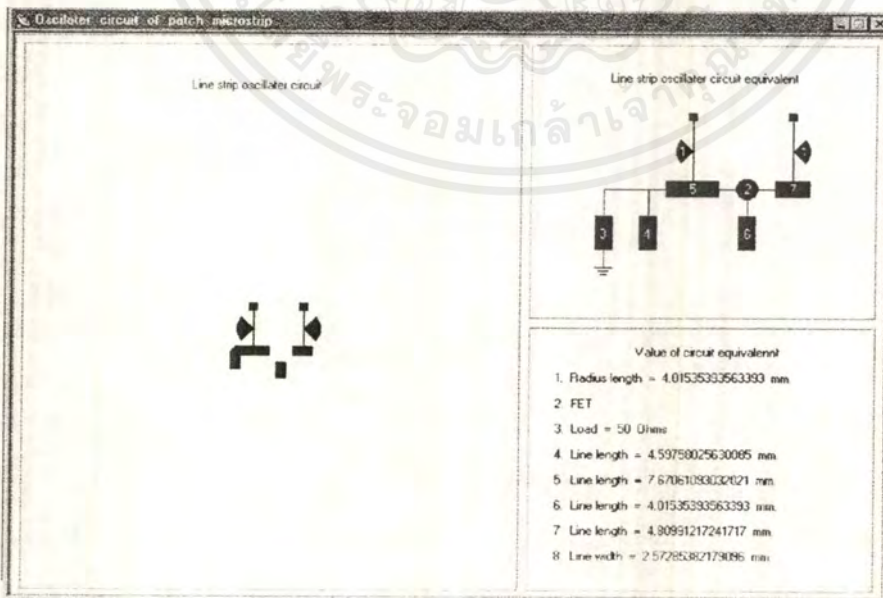
$$S_{11} = 0.649 \angle -1653.3^\circ$$

$$S_{12} = 0.089 \angle -9.8^\circ$$

$$S_{21} = 3.129 \angle 30.8^\circ$$

$$S_{22} = 0.436 \angle -128.1^\circ$$

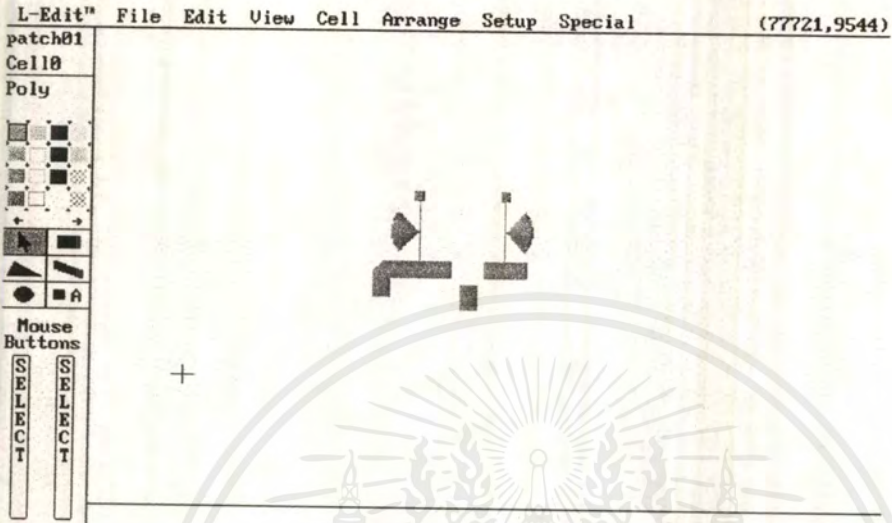
และใช้วัสดุฐานรองเทฟลอนที่ผลิตโดยบริษัทโรเจอร์ เบอร์ 5880 ซึ่งมีค่า $\epsilon_r = 2.2 \pm 0.1$ ความสูงของวัสดุฐานรอง $h = 1.6 \text{ mm}$ โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูง ทำการออกแบบตามขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมในบทที่ 6 จะได้โครงสร้างของวงจรออสซิลเลเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 โครงสร้างของวงจรออสซิลเลเตอร์จากโปรแกรมช่วยออกแบบ

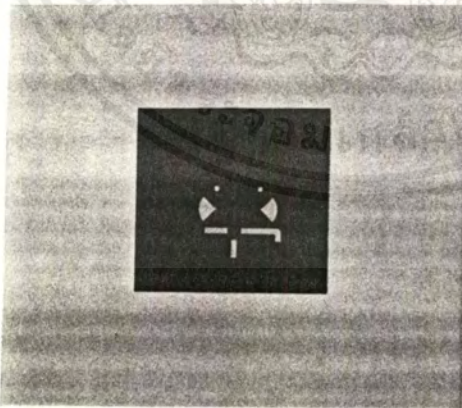
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำค่าที่ได้จากการออกแบบมาทำการ Lay - out ขึ้นงานด้วยโปรแกรม L-Edit ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความละเอียดมาก ดังแสดงในรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 การ Lay - out ขึ้นงานด้วยโปรแกรม L-Edit

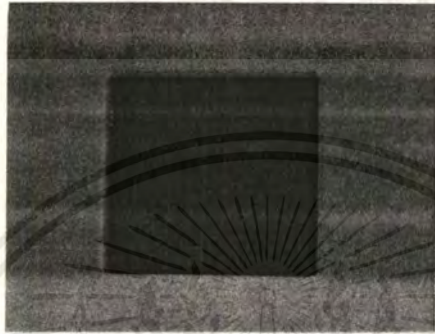
3. นำไปทำแผ่นฟิล์มอาร์ทเวิร์ด (Poscript File) แบบ Negative ดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 แผ่นฟิล์มอาร์ทเวิร์ด แบบ Negative

4. ตัดแผ่น PCB (Print Circuit Board) และ Dry Film ตามขนาดที่ต้องการพร้อมทั้งทำความสะอาดผิวทองแดงด้วยอะซิโตน (Acetone)

5. ลอกแผ่นพลาสติก (Cover Sheet) ที่ติดอยู่กับแผ่น Dry Film ด้านใดด้านหนึ่งออกแล้วนำไปติดกับแผ่น PCB ที่เตรียมไว้ (ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ) ดังแสดงในรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 แสดงแผ่น Dry Film ที่ติดลงบนแผ่น PCB

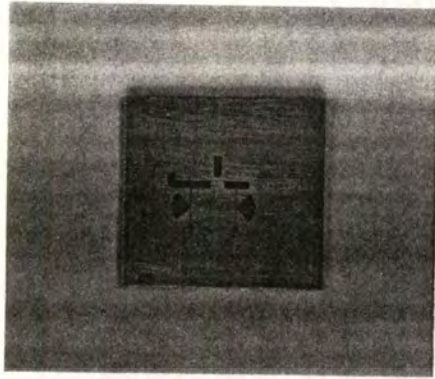
6. ใช้ผ้าวางทับบนแผ่น PCB จากนั้นนำเตารีดไฟฟ้าปรับความปานกลาง หรือโดยประมาณ 110°C รีดทับบนแผ่นผ้าให้ทั่ว (ระวังอย่าใช้ความร้อนสูงเกินไป เพราะ Dry Film จะละลายได้) จากนั้นตรวจสอบดูว่า Dry Film ที่ติดบนแผ่น PCB มีฟองอากาศแทรกอยู่หรือไม่ (ฟองอากาศนี้ทำให้ Dry Film ไม่เกาะติดแผ่น PCB ซึ่งเป็นเหตุให้ลายเส้นที่จุดนั้นขาดได้)

7. เมื่อได้แผ่น PCB ที่เคลือบ Dry Film เรียบร้อยแล้วนั้นคือพร้อมที่จะขึ้นลายได้ ให้นำหลอดไฟฟ้า (หลอดไส้) ขนาด 100 วัตต์ แขนงไว้เหนือแผ่น PCB ห่างประมาณ 5 นิ้ว

8. นำแผ่นฟิล์มอาร์ทเวอร์ค (Poscript File) แบบ Negative ที่มีขนาดเท่าแบบทับบนแผ่น PCB แล้วนำกระจกใสมาวางทับอีกที เพื่อให้ฟิล์มอาร์ทเวอร์ค แนบติดกับแผ่น PCB แน่นขึ้นจากนั้นเปิดหลอดไฟ เพื่อทำการถ่ายขึ้นลายใช้เวลาถ่ายประมาณ 25 นาที

9. นำแผ่นที่ทำการขึ้นลายแล้ว มาลอกแผ่นพลาสติก (Cover Sheet) ที่ติดอยู่ด้านบนบนแผ่น Dry Film อีกด้านหนึ่งออก

10. นำแผ่น PCB ที่ได้มาทำการ Remove Dry Film ออกด้วยน้ำยา Developer (โซเดียมคาร์บอเนต) ซึ่งจะเหลือแต่ลายที่เราต้องการ ดังรูปที่ 7.5

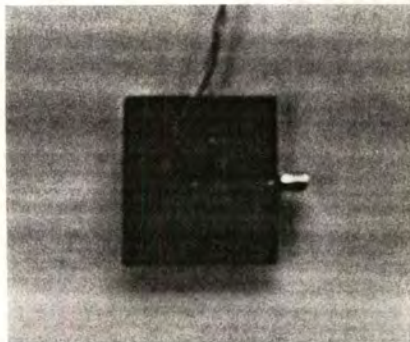


รูปที่ 7.5 แสดงลายบนแผ่น PCB ที่ทำการ Remove Dry Film แล้ว

11. นำแผ่น PCB ที่ได้มากัดด้วยน้ำยากัดทองแดงเพื่อให้ได้ลายเส้นตามที่ต้องการ แล้วนำไป Remove Dry Film โดยใช้ทินเนอร์หรือโซดาไฟ พร้อมกับนำไปทำความสะอาดก็จะได้วงจรออกสซิลเลเตอร์ตามที่ต้องการ เหมือนที่แสดงในรูปที่ 7.5 แต่จะไม่มี Dry Film ที่เป็นสีฟ้าติดที่ผิวทองแดงแล้ว

7.2 การทดสอบผลการออกสซิลเลท

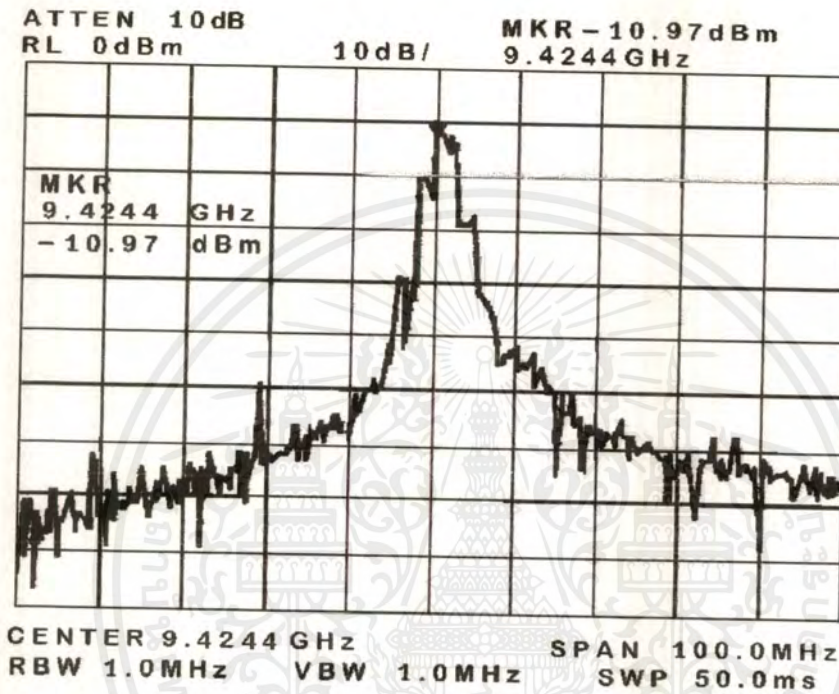
เมื่อทำการออกแบบและสร้างวงจรออกสซิลเลเตอร์ได้ตามขั้นตอนข้างต้นเรียบร้อยแล้ว ก็จะต้องนำมาทดสอบด้วยเครื่องสเปกตรัมอานาไลเซอร์ (spectrum analyzer) เพื่อตรวจสอบการออกสซิลเลทว่าเกิดที่ความถี่ที่ต้องการหรือไม่ แต่เนื่องจากวงจรออกสซิลเลเตอร์จะทำงานได้อย่างถูกต้องจำเป็นต้องต่อกับโหลดที่เหมาะสมด้วย จึงไม่สามารถจะวัดด้วยเครื่องสเปกตรัมอานาไลเซอร์ (spectrum analyzer) ได้โดยตรงจึงต้องปรับปรุงแก้ไขโครงสร้างบางส่วนของวงจรออกสซิลเลเตอร์เพื่อให้สามารถวัดเครื่องสเปกตรัมอานาไลเซอร์ (spectrum analyzer) ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งโครงสร้างใหม่ที่แก้ไขแล้วแสดงในรูปที่ 7.6



รูปที่ 7.6 แสดงวงจรออกสซิลเลเตอร์ที่ปรับปรุงแก้ไขใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

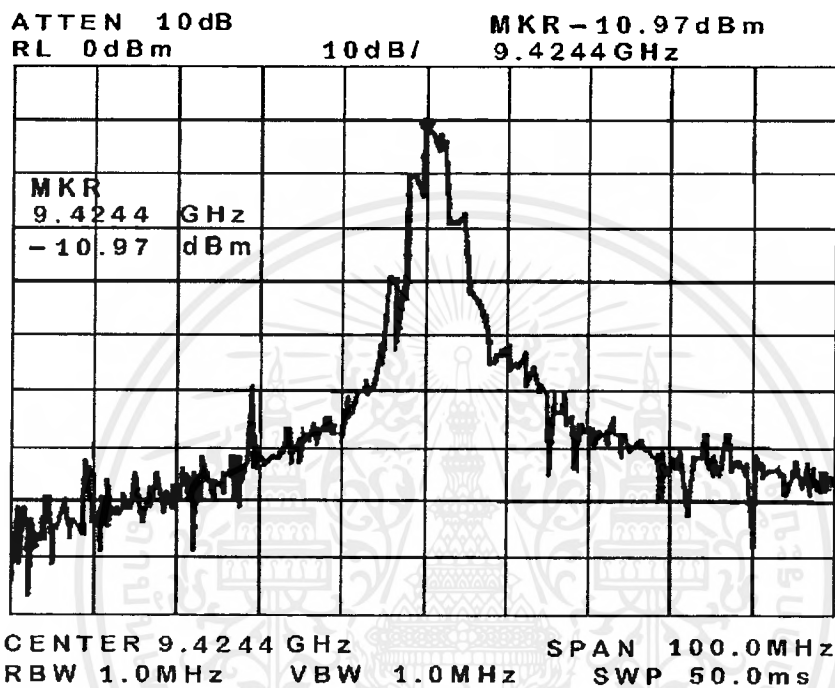
จากโครงสร้างในรูปที่ 7.6 เมื่อนำมาทดสอบด้วยเครื่องสเปกตรัมอานาไลเซอร์ (spectrum analyzer) จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 7.7 ซึ่งพบว่า จะเกิดการอสซิลเลทที่ความถี่ศูนย์กลาง 9.4244 GHz และเกิดการลดทอนสัญญาณไป 10 dB



รูปที่ 7.7 แสดงสเปกตรัมของวงจรรออสซิลเลเตอร์

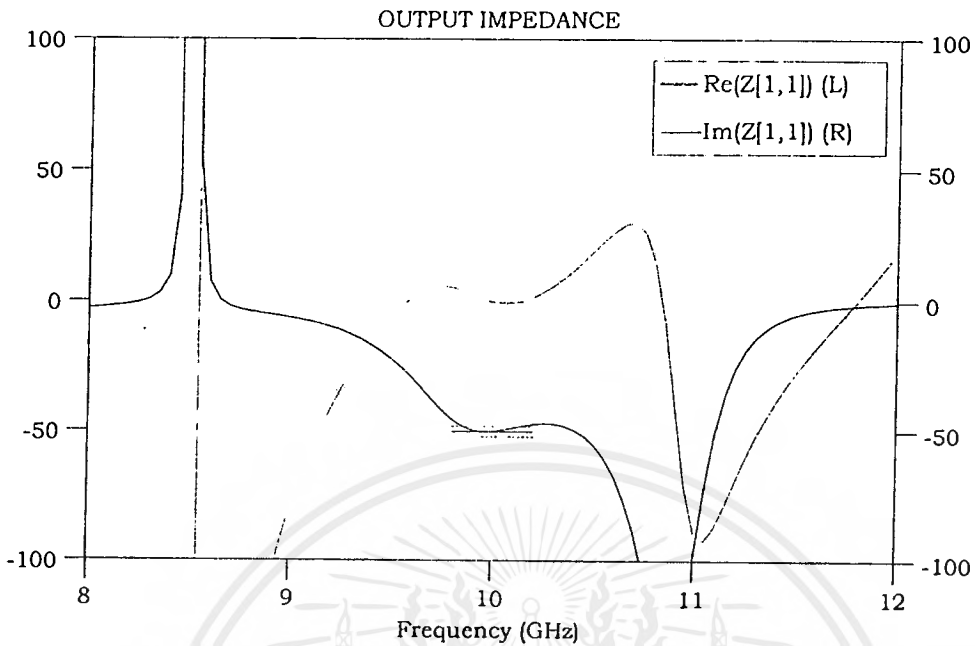
และเมื่อทำการคำนวณค่าเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ของวงจรรออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ต่างๆ และนำมาพล็อตกราฟโดยประมาณจะได้เส้นกราฟดังแสดงในรูปที่ 7.8 ซึ่งมีค่าจริง (real) เท่ากับ -50Ω จินตภาพ (imaginary) เท่ากับศูนย์ที่ความถี่ 10 GHz นั่นคือแสดงว่าจะเป็นวงจรรออสซิลเลเตอร์ได้ที่ความถี่ 10 GHz

จากโครงสร้างในรูปที่ 7.6 เมื่อนำมาทดสอบด้วยเครื่องสเปกตรัมอานาไลเซอร์ (spectrum analyzer) จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 7.7 ซึ่งพบว่าจะเกิดการอสซิลเลทที่ความถี่ศูนย์กลาง 9.4244 GHz และเกิดการลดทอนสัญญาณไป 10 dB



รูปที่ 7.7 แสดงสเปกตรัมของวงจรออสซิลเลเตอร์

และเมื่อทำการคำนวณค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ต่างๆ และนำมาพล็อตกราฟโดยประมาณจะได้เส้นกราฟดังแสดงในรูปที่ 7.8 ซึ่งมีค่าจริง (real) เท่ากับ -50Ω จินตภาพ (imaginary) เท่ากับศูนย์ที่ความถี่ 10 GHz นั่นคือแสดงว่าจะเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ได้ที่ความถี่ 10 GHz



รูปที่ 7.8 กราฟเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ต่างๆ

7.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการวัดด้วยเครื่องสเปกตรัมอานาไลเซอร์ (spectrum analyzer) และกราฟกราฟเอาต์พุตอิมพีแดนซ์จะเห็นว่าวงจรออสซิลเลเตอร์สามารถทำให้เกิดการออสซิลเลตได้ที่ความถี่ 9.4244 GHz ซึ่งผิดพลาดจากความถี่ที่ต้องการออกแบบคือ 10 GHz คาดว่าเกิดจากผิดพลาดในการออกแบบและการสร้าง เช่น การวางตำแหน่งเฟดไม่เหมาะสมคือวางห่างจากไลน์สตริปมากเกินไป แต่อย่างไรก็ตามการออสซิลเลตที่ความถี่ 9.4244 GHz นี้ก็สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายแอกทีฟ (active source) ให้กับสายอากาศแอกทีฟ (active integrated antenna) ตามจุดประสงค์ของโครงการได้

บทสรุป

โครงการนำร่องนี้ ได้นำเสนอทฤษฎีการออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์แบบความต้านทานเชิงลบ (negative resistance oscillator) และได้นำหลักการออกแบบตามทฤษฎีมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ความถี่สูง ซึ่งจากโปรแกรมที่ได้สร้างขึ้นมา จะช่วยให้การออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ทำได้สะดวกยิ่งขึ้น

การใช้งานโปรแกรมลักษณะเมนูหลักๆคล้ายกับโปรแกรมมาตรฐานทั่วไป แต่ถ้ามีปัญหาเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรมก็สามารถขอความช่วยเหลือได้จากเมนู Help

ในโครงการนี้ได้ทำการสร้างวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่ 10 GHz โดยอาศัยการออกแบบจากวงจรที่เขียนขึ้น และวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ได้ เมื่อนำไปทดสอบพบว่าจะออสซิลเลทที่ความถี่ 9.4 GHz ซึ่งเกิดความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการวางตำแหน่งเฟดทางเกินไป แต่จากวงจรออสซิลเลเตอร์ที่สร้างก็สามารถนำไปใช้งานเป็น แหล่งจ่ายแอกทีฟ (active source) ให้กับสายอากาศแบบแอกทีฟ (active integrated antenna) ได้จริง



บรรณานุกรม

1. Ralph S Carson “High – Frequency Amplifiers”
Johnwiley & Sons, Inc 1982
2. Guillermo Gonzalez, Ph.D. “Microwave Transistor Amplifiers
Analysis and Design” PRENTICE – HALL, Inc, 1984
3. K.C. Gupta, Ramesh Garg, Inder Dasl, Prakash Dsartia
“Microstrip Line and Slot Line” Artech House Boston London, 1996
4. พิชัย ภัคดีพานิชเจริญ “ทฤษฎีและการใช้งานความถี่ย่านไมโครเวฟ”
สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, เมษายน 2536





ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LOW NOISE InGaAs HEMT

MGF4xxxx Series

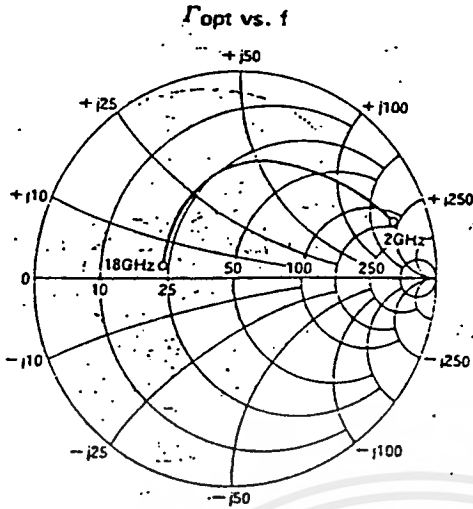
Typical Characteristics

Type	Freq. (GHz)	NFmin (dB)	Gs. (dB)	Grade	Shipping type	Outline
MGF4314D	12	0.80	11.5	GG	Palette	GD-4
MGF4316D	12	0.75	11.5	GG	Palette	
MGF4317D	12	0.65	11.5	GG	Palette	
MGF4318D	12	0.55	11.5	GG	Palette	
MGF4314E	12	0.80	11.5	GG	Palette	
MGF4318E	12	0.55	11.5	GG	Palette	
MGF4316F	12	0.65	11.5	GG	Palette	
MGF4319F	12	0.45	11.5	GG	Palette	
MGF4416D	12	0.75	11.5	IG	Palette	GD-9
MGF4417D	12	0.65	11.5	IG	Palette	
MGF4418D	12	0.55	11.5	IG	Palette	
MGF4511D	18	1.00	8.0	IG	Palette	GD-15
MGF4714AP	12	0.85	9.0	GG	Tape(Mold package)	GD-18
MGF4914D	12	0.80	11.5	GG	Tape	GD-16
MGF4916D	12	0.75	11.5	GG	Tape	
MGF4917D	12	0.65	11.5	GG	Tape	
MGF4918D	12	0.55	11.5	GG	Tape	
MGF4914E	12	0.80	11.5	GG	Tape	
MGF4918E	12	0.55	11.5	GG	Tape	
MGF4916F	12	0.65	11.5	GG	Tape	
MGF4919F	12	0.45	11.5	GG	Tape	

3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOISE PARAMETERS ($V_{DS}=3.0V, I_D=10mA$)

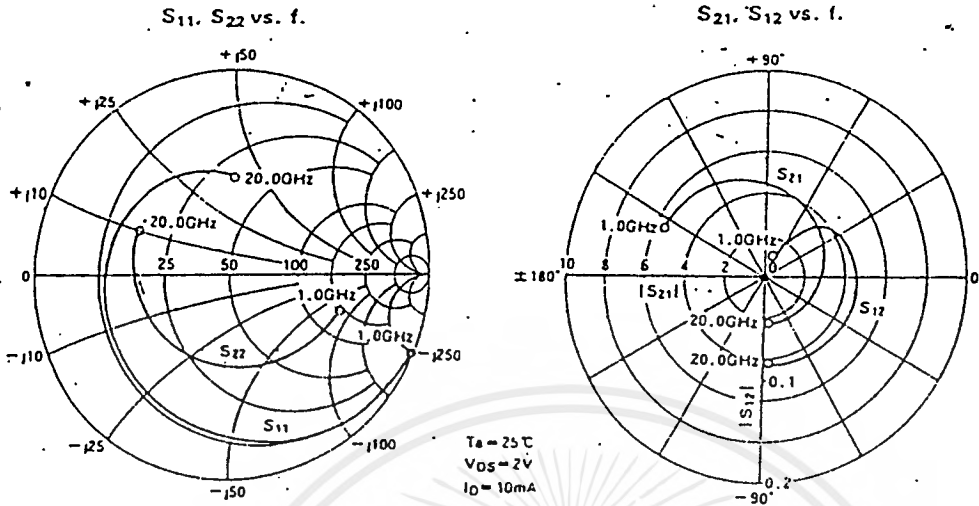


Frequency (GHz)	Γ_{OPT}		R_n (Ω)	NFmin (dB)
	MAG	ANG		
2	0.820	18.5	23.5	0.68
4	0.695	36.0	21	0.75
8	0.573	81.2	19	1.30
12	0.489	115.8	17	1.80
18	0.362	173.0	21	2.55

G_{ip} and P_{1dB} ($T_a=25^\circ C, V_{GS}=3V$)

	$f=4GHz$		$f=12GHz$	
	$I_D=10mA$	$I_D=30mA$	$I_D=10mA$	$I_D=30mA$
G_{ip} (dB)	15.9	16.9	11.7	12.0
P_{1dB} (dBm)	12.4	14.2	10.9	12.8

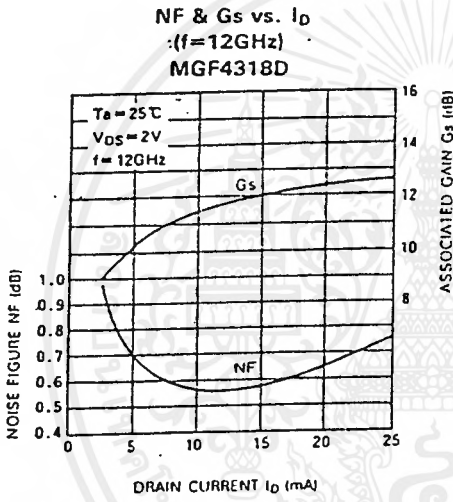
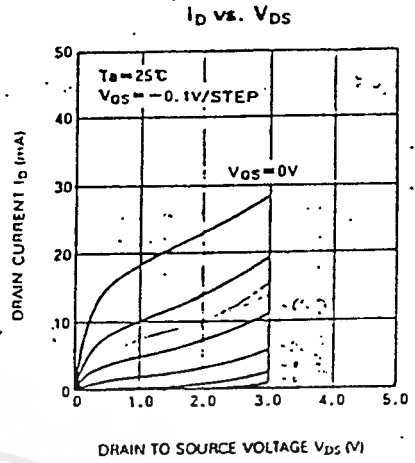
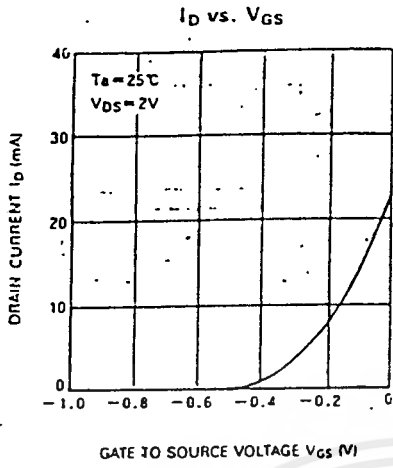
SUPER LOW NOISE InGaAs HEMT



PARAMETERS (Ta = 25°C, VDS = 2V, IO = 10mA)

Freq. (GHz)	S11		S21		S12		S22		K	MSG/MAG (dB)
	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.	Mag.	Ang.		
1.0	0.983	-27.5	5.636	154.1	0.024	69.7	0.592	-21.7	0.119	23.7
2.0	0.940	-43.7	5.347	139.4	0.038	59.6	0.564	-34.2	0.233	21.5
3.0	0.897	-59.9	5.058	124.8	0.052	49.6	0.536	-46.7	0.305	19.9
4.0	0.854	-76.1	4.769	110.1	0.066	39.5	0.508	-59.2	0.365	18.6
5.0	0.805	-93.8	4.437	95.2	0.073	29.6	0.481	-72.7	0.438	17.8
6.0	0.756	-111.4	4.105	80.3	0.081	19.7	0.453	-86.1	0.520	17.0
7.0	0.726	-125.1	3.825	67.3	0.084	11.5	0.442	-97.7	0.585	16.6
8.0	0.696	-138.8	3.545	54.3	0.087	3.3	0.431	-109.2	0.660	16.1
9.0	0.672	-151.1	3.337	42.6	0.088	-3.3	0.433	-118.7	0.721	15.8
10.0	0.649	-163.2	3.129	30.8	0.089	-9.8	0.436	-128.1	0.750	15.5
11.0	0.633	-175.6	2.984	19.1	0.089	-16.9	0.435	-137.2	0.852	15.3
12.0	0.618	172.2	2.839	7.4	0.089	-23.9	0.434	-146.2	0.921	15.0
13.0	0.608	162.9	2.722	-3.1	0.087	-28.5	0.450	-154.4	0.974	15.0
14.0	0.599	153.5	2.605	-13.6	0.084	-33.0	0.467	-162.5	1.033	13.8
15.0	0.582	143.6	2.536	-24.7	0.085	-39.9	0.484	-169.6	1.061	13.2
16.0	0.566	133.7	2.468	-35.8	0.086	-46.8	0.501	-176.7	1.087	12.8
17.0	0.545	122.0	2.439	-48.2	0.089	-56.1	0.515	175.9	1.095	12.5
18.0	0.525	110.3	2.410	-60.5	0.091	-65.3	0.529	168.4	1.101	12.3
19.0	0.495	99.2	2.363	-73.1	0.090	-76.0	0.523	161.9	1.229	11.3
20.0	0.465	88.1	2.315	-85.6	0.089	-85.6	0.518	155.4	1.359	10.6

TYPICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MGF4310D Series

SUPER LOW NOISE InGaAs HEMT

DESCRIPTION

The MGF4310D series super-low-noise HEMT (High Electron Mobility Transistor) is designed for use in X to K band amplifiers. The hermetically sealed metal-ceramic package assures minimum parasitic losses, and has a configuration suitable for microstrip circuits.

FEATURES

- Low noise figure @f=12GHz
 MGF4314D: NFmin. = 1.00dB (MAX)
 MGF4316D: NFmin. = 0.80dB (MAX)
 MGF4317D: NFmin. = 0.70dB (MAX)
 MGF4318D: NFmin. = 0.60dB (MAX)
- High associated gain $G_s=9.5\text{dB(MIN)}$ @f=12GHz

APPLICATION

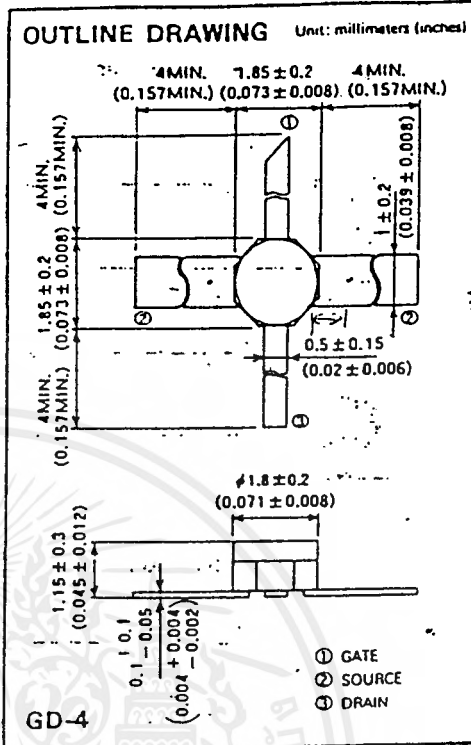
X to K band super-low-noise amplifiers.

QUALITY GRADE

- GG

RECOMMENDED BIAS CONDITIONS

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



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

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

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = 25°C)

Symbol	Parameter	Test conditions	Limits			Unit	
			Min	Typ	Max		
$V_{(BR)GDO}$	Gate to drain breakdown voltage	$I_G = -100\mu A$	-3	—	—	V	
$V_{(BR)GSO}$	Gate to source breakdown voltage	$I_G = -100\mu A$	-3	—	—	V	
I_{GSS}	Gate to source leakage current	$V_{GS} = -2\text{V}$, $V_{DS} = 0\text{V}$	—	—	50	μA	
I_{DSS}	Saturated drain current	$V_{GS} = 0\text{V}$, $V_{DS} = 2\text{V}$	10	20	60	mA	
$V_{GS(ott)}$	Gate to source cut-off voltage	$V_{DS} = 2\text{V}$, $I_D = 500\mu A$	-0.1	—	-1.5	V	
g_m	Transconductance	$V_{DS} = 2\text{V}$, $I_D = 10\text{mA}$	40	60	—	mS	
G_s	Associated gain	$V_{DS} = 2\text{V}$, $I_D = 10\text{mA}$, $f = 12\text{GHz}$	9.5	11.5	—	dB	
NFmin	Minimum noise figure		MGF4314D	—	0.80	1.00	dB
			MGF4316D	—	0.75	0.80	dB
			MGF4317D	—	0.65	0.70	dB
			MGF4318D	—	0.55	0.60	dB
$R_{th(ch-a)}$	Thermal Resistance	*1 ΔV_I method	—	—	625	°C/W	

*1: Channel to ambient



RO4003™ High Frequency Material Insertion Loss Comparison With Other Material Types

Microwave circuits require substrate materials that have tight control of dielectric constant as well as low loss. Materials that meet these requirements traditionally have been priced much higher than conventional epoxy/glass boards. The emergence of the commercial microwave market has brought about a strong need to balance performance, manufacturability and cost. The introduction of Rogers RO4003™ High Frequency Material bridges the gap by providing tight control on dielectric constant, and low loss, while processing the same as standard epoxy/glass at a fraction of the cost of conventional microwave laminates. RO4003 is a proprietary woven glass reinforced hydrocarbon/ceramic with the electrical performance of PTFE/woven glass and the manufacturability of epoxy/glass.

An evaluation of insertion loss for a 50Ω microstrip transmission line was conducted on several materials. The materials selected range from standard FR4 (difunctional epoxy), to the more sophisticated PTFE based laminates (GX and RO3003). The goal of the evaluation was to quantify the circuit losses on the various types of materials. This would enable one to better understand the frequency limitations of each material type. The selected materials and advertised ϵ_r are presented in Table I.

Table I. Commercial Grade Materials for Microwave Applications

Material	Advertised ϵ_r
RO3003™ (PTFE/ceramic)	3.0
GX (PTFE/woven glass)	2.4 - 2.6
RO4003™ (Hydrocarbon/woven glass)	3.38
BT	3.7 - 3.9
Epoxy/PPO	3.95
BT/Epoxy	4.0
Difunctional Epoxy	4.5

In order to obtain the insertion loss of the 50Ω lines, two different length lines, 3 and 7 inches long, were measured for S_{21} from 0.1 to 18 GHz on a network analyzer. The difference of the two measured values was divided by the difference in the length of the lines. The result of this operation would yield the insertion loss of the incremental length of the line thus eliminating most of the losses caused by reflections at the launch site. Figure 1 displays the method used for calculation. All circuits were fabricated on 0.030" material with 1 oz copper.

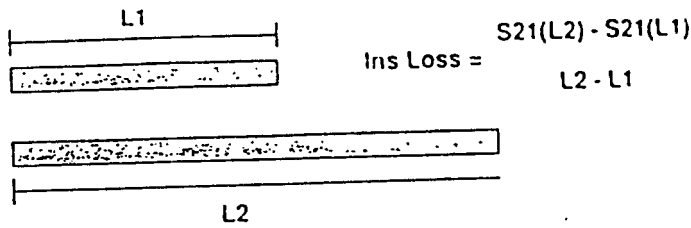


Figure I. Calculation of Insertion Loss Data

Regression analysis was conducted on the various resultant measurements to obtain a linear characterization of the insertion loss versus frequency. Figure II and Table II provide data based on regression models for all six materials at various frequencies.

Table II. Insertion Loss vs. Frequency in dB/inch

frequency	RO3003	GX	RO4003	BT Glass	Epoxy/ PPO	BT/Epoxy	Difunct Epoxy
0.5	-0.003	-0.006	-0.009	-0.017	-0.022	-0.027	-0.039
1	-0.007	-0.012	-0.018	-0.033	-0.043	-0.054	-0.078
2.5	-0.017	-0.031	-0.044	-0.082	-0.106	-0.132	-0.192
5	-0.036	-0.063	-0.088	-0.167	-0.216	-0.269	-0.391
10	-0.071	-0.126	-0.176	-0.334	-0.431	-0.538	-0.782
15	-0.107	-0.189	-0.265	-0.501	-0.647	-0.807	-1.174
18	-0.128	-0.226	-0.318	-0.602	-0.777	-0.969	-1.409

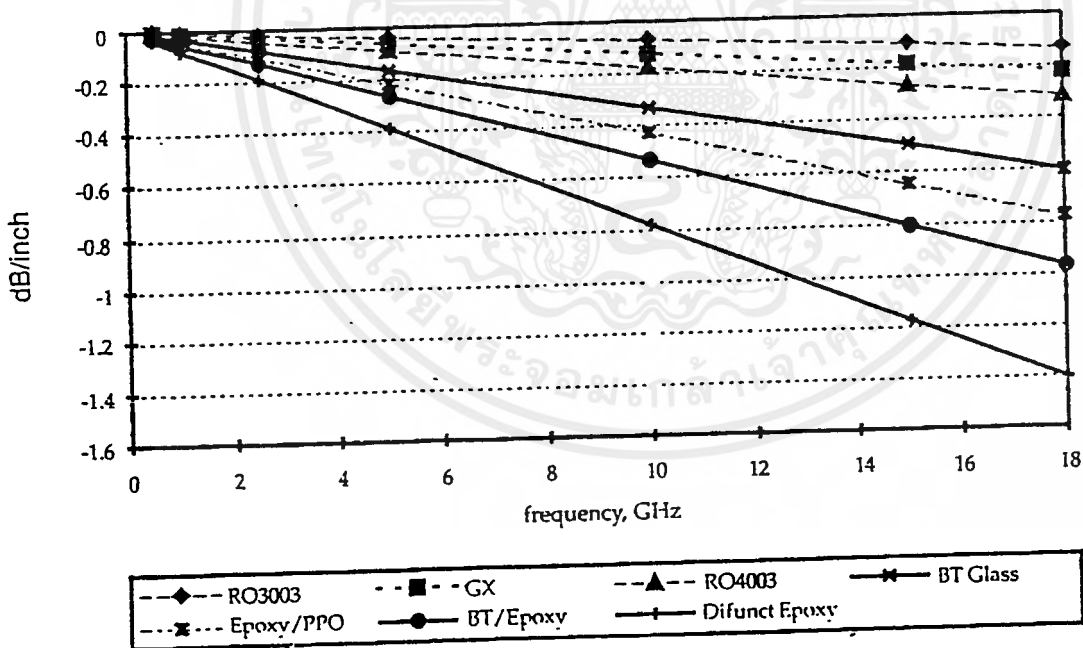


Figure II. Modeled Microstrip Insertion Loss Data

RO4003 material provides loss comparable to RO3003 and GX material. A large increase in loss is evident when going to the next material, BT glass. The lossiest material, difunctional epoxy, is 4.5 time lossier than the RO4003. Overall when selecting a material during the design stages, issues like;

- ϵ_r control
- material loss
- electrical and mechanical thermal stability
- manufacturability
- cost

need to be considered in order to reduce cycle time of the design.

There are many materials being evaluated for commercial microwave applications, but once performance and cost are evaluated, the choices narrow down to a few, RO3003, GX and RO4003 among them. These remaining choices provide good ϵ_r control as well as low loss, critical for frequencies at C-band (4 to 8 GHz) and above. RO4003 not only provides the needed electrical characteristics, but can also be manufactured with standard epoxy/glass processes, bringing down fabrication costs. In general, RO4003 combines the best of electrical properties with ease of fabrication at a competitive cost for commercial applications.

ROGERS



Rogers Corporation
Microwave and Circuit Materials Division
100 S. Roosevelt Avenue
Chandler, AZ 85226-3415
602 961-1382 FAX: 602 961-4533

These products may require a validated export license issued by the United States Department of Commerce for export of these materials from the United States or Canada.

The information and guidelines contained in this document are intended to assist you in designing with RO4003™ materials. They are not intended to and do not create any warranties express or implied including any warranty of merchantability or fitness for a particular application. Results may vary as conditions and equipment may vary. The user should determine the suitability of Rogers materials for each application. RO4003 and RO3003 are trademarks of Rogers Corporation for its laminates.

© 1995 Rogers Corporation

Printed in U.S.A.

5/95

1296-055 Rev. 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RT/duroid[®] and TMM[®] Microwave Laminates

PROPERTY	RT/duroid [®] 5880 (GR-GP)	RT/duroid [®] 5870 (GR-GP)	ULTRALAM [®] 2004 (GT-GX)	RT/duroid [®] 6002	RT/duroid [®] 6006	RT/duroid [®] 6010 (60-10) M	TMM [®] Temperature Stable Microwave Laminates				
	3	4	6	10	10	3	4	6	10	10	
Dielectric Constant and Loss Tangent @ 10 GHz	2.20±0.020 <i>0.062</i> <i>1.5</i> <i>1.5</i> <i>≈ 12.00</i>	2.33±0.020	2.40±2.60 0.040	2.94±0.040	6.15±0.150	10.2±0.250	3.27 ±0.016	4.50 ±0.045	6.00 ±0.080	9.20 ±0.230	9.80 ±0.245
Dielectric Loss Tangent (Loss Tangent) GHz. Typ.	0.0009	0.0012	0.0019	0.0012	0.0019	0.0023	0.0020	0.0020	0.0023	0.0023	0.0020
Temperature Coefficient of ε _r (ppm/°C)	-125	-115	-100	+16	-410	-125	⁽⁴⁾ +39	—	⁽⁴⁾ -10	⁽⁴⁾ -38	⁽⁴⁾ -43
Thermal Expansion Coefficient (ppm/°C)	2x10 ⁻⁶	2x10 ⁻⁶	2x10 ⁻⁶	10 ⁻⁶	2x10 ⁻⁶	5x10 ⁻⁶	3x10 ⁻⁶	6x10 ⁻⁶	1x10 ⁻⁶	2x10 ⁻⁶	—
Thermal Conductivity (W/m·K)	3x10 ⁻³	2x10 ⁻³	4x10 ⁻³	10 ⁻³	7x10 ⁻³	5x10 ⁻³	>9x10 ⁻³	1x10 ⁻³	1x10 ⁻³	4x10 ⁻³	—
Modulus X	156(1076)	189(1340)	1700(11,730)	120(828)	74(511)	135(932)	⁽¹⁾ 1916 (13,210)	⁽¹⁾ 2000* (13,790)	⁽¹⁾ 2200 (15,168)	⁽¹⁾ 2400 (16,547)	—
Modulus Y	125(863)	185(1277)	1300(8970)	120(828)	91(628)	81(559)	⁽¹⁾ 1916 (13,210)	⁽¹⁾ 2000* (13,790)	⁽¹⁾ 2200* (15,168)	⁽¹⁾ 2400 (16,547)	—
Compressive Strength (MPa)	136 (938)	120 (828)	—	360* (2482)	155 (1070)	311 (2146)	742 (5116)	752 (5185)	736 (5075)	575 (3964)	—
Water Absorption (% at 23°C)	0.015	0.015	0.03	0.1	0.05	0.6 (LM 0.05)	⁽²⁾ 0.04	⁽²⁾ 0.010	⁽²⁾ 0.06	⁽²⁾ 0.09	⁽²⁾ 0.16
Volume Resistance (Ω·cm)	0.20	0.22	0.24	0.60	0.49	0.78	0.70	0.70	0.72	0.76	0.76
Thermal Expansion Coefficient (ppm/°C) X	31	22	15	16	47	24	16	14	16	16	16*
Thermal Expansion Coefficient (ppm/°C) Y	46	38	15	16	34	24	16	14	16	16	16*
Thermal Expansion Coefficient (ppm/°C) Z	237	173	100	24	117	24	20	20	20	20	20*
Thermal Conductivity (W/m·K)	2.2	2.2	2.2	2.1	2.7	2.9	2.78	2.07	2.07	2.77	2.77

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



microwave laminates

RT/duroid® 5880 Glass Microfiber Reinforced Polytetrafluoroethylene Composite

RT/duroid® 5880 glass microfiber reinforced PTFE composite is designed for exacting stripline and microstrip circuit applications.

Glass reinforcing microfibers are randomly oriented to maximize benefits of fiber reinforcement in the directions most valuable to circuit producers and in the final circuit application.

The dielectric constant of RT/duroid 5880 laminates is uniform from panel to panel and is constant over a wide frequency range. Its low dissipation factor extends the usefulness of RT/duroid 5880 to Ku-band and above.

RT/duroid 5880 laminate is easily cut, sheared and machined to shape. It has excellent dimensional stability and is resistant to all solvents and reagents, hot or cold, normally used in etching printed circuits or in plating edges and holes.

Normally supplied as a laminate with electrodeposited copper of 1/4 to 2 ounces/ft.² on both sides, RT/duroid 5880 composites can also be clad with rolled copper foil for more critical electrical applications. Cladding with aluminum, copper or brass plate may also be specified.

When requested copper-clad, RT/duroid 5880 composite can be certified to MIL-S-13949 Type GRN or Type GPN microwave material specifications.

When ordering RT/duroid 5880 laminates, it is important to specify dielectric thickness, tolerance, rolled or electrodeposited copper foil, and weight of copper foil required.

See reverse for product data.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
program CAD_OSC;
```

```
uses
```

```
Forms,
```

```
uuu in 'uuu.pas' {Main},
```

```
uuu01 in 'uuu01.pas' {Substate},
```

```
uuu03 in 'uuu03.pas' {Sparameter},
```

```
uuu05 in 'uuu05.pas' {GammaL},
```

```
uuu04 in 'uuu04.pas' {Stability},
```

```
uuu06 in 'uuu06.pas' {GammaT},
```

```
uuu07 in 'uuu07.pas' {ZandYtoG},
```

```
uuu09 in 'uuu09.pas' {GtoZandY},
```

```
uuu010 in 'uuu010.pas' {LCmatching},
```

```
uuu011 in 'uuu011.pas' {Immittancemat},
```

```
uuu012 in 'uuu012.pas' {Wavelengths},
```

```
uuu013 in 'uuu013.pas' {Oscillater},
```

```
uuu014 in 'uuu014.pas' {Management},
```

```
uuu015 in 'uuu015.pas' {About},
```

```
uuu02 in 'uuu02.pas' {Microstrip},
```

```
uuu016 in 'uuu016.pas' {Admittance},
```

```
uuu017 in 'uuu017.pas' {Impedance},
```

```
uuu019 in 'uuu019.pas' {Patch},
```

```
uuu020 in 'uuu020.pas' {AnswerZandYtoG},
```

```
uuu08 in 'uuu08.pas' {AnswerGtoZandY},
```

```
uuu021 in 'uuu021.pas' {AnswergammaS},
```

```
uuu022 in 'uuu022.pas' {AnswergammaT},
```

```
uuu023 in 'uuu023.pas' {Region1},
```

```
uuu024 in 'uuu024.pas' {Region2},
```

```
uuu025 in 'uuu025.pas' {Region3},
```

```
uuu026 in 'uuu026.pas' {Region4},
```

```
uuu027 in 'uuu027.pas' {Compare},
```

```
uuu028 in 'uuu028.pas' {Form1};
```

```
{SR *.RES}
```

```
begin
Application.Initialize;
Application.CreateForm(TMain, Main);
Application.CreateForm(TSubstate, Substate);
Application.CreateForm(TSparameter, Sparameter);
Application.CreateForm(TGammaL, GammaL);
Application.CreateForm(TStability, Stability);
Application.CreateForm(TGammaT, GammaT);
Application.CreateForm(TZandYtoG, ZandYtoG);
Application.CreateForm(TGtoZandY, GtoZandY);
Application.CreateForm(TLCmatching, LCmatching);
Application.CreateForm(TImmittancemat, Immittancemat);
Application.CreateForm(TWavelengths, Wavelengths);
Application.CreateForm(TOscillator, Oscillator);
Application.CreateForm(TManagement, Management);
Application.CreateForm(TAbout, About);
Application.CreateForm(TMicrostrip, Microstrip);
Application.CreateForm(TAdmittance, Admittance);
Application.CreateForm(TImpedance, Impedance);
Application.CreateForm(TPatch, Patch);
Application.CreateForm(TAnswerZandYtoG, AnswerZandYtoG);
Application.CreateForm(TAnswerGtoZandY, AnswerGtoZandY);
Application.CreateForm(TAnswergammaS, AnswergammaS);
Application.CreateForm(TAnswergammaT, AnswergammaT);
Application.CreateForm(TRegion1, Region1);
Application.CreateForm(TRegion2, Region2);
Application.CreateForm(TRegion3, Region3);
Application.CreateForm(TRegion4, Region4);
Application.CreateForm(TCompare, Compare);
Application.CreateForm(TForm1, Form1);
Application.Run;
end.
```

unit uuu;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs;
Menus, ExtCtrls, StdCtrls, Printers;

type

TMain = class(TForm)

MainMenu1: TMainMenu;

Display1: TMenuItem;

Polar1: TMenuItem;

Rectangular1: TMenuItem;

Parameter1: TMenuItem;

Sparameter1: TMenuItem;

Design1: TMenuItem;

Stabilitycircles1: TMenuItem;

Inputoutputreflecion1: TMenuItem;

Conversion1: TMenuItem;

LCmatching1: TMenuItem;

Immittancematchhing1: TMenuItem;

Wavelengths1: TMenuItem;

Oscilatercircuit1: TMenuItem;

About1: TMenuItem;

Management1: TMenuItem;

AboutDesign1: TMenuItem;

New1: TMenuItem;

Load1: TMenuItem;

Save2: TMenuItem;

Teplon1: TMenuItem;

Inputreflecion1: TMenuItem;

Outputreflecion1: TMenuItem;

ZGamma1: TMenuItem;

GammaZ1: TMenuItem;

Help1: TMenuItem;
Contents1: TMenuItem;
File1: TMenuItem;
Exit1: TMenuItem;
N1: TMenuItem;
PrintSetup1: TMenuItem;
Print1: TMenuItem;
N2: TMenuItem;
SaveAs1: TMenuItem;
Save1: TMenuItem;
N3: TMenuItem;
N5: TMenuItem;
N6: TMenuItem;
SaveAs2: TMenuItem;
OpenDialog1: TOpenDialog;
SaveDialog1: TSaveDialog;
MicrostripLine1: TMenuItem;
New2: TMenuItem;
Load2: TMenuItem;
Save3: TMenuItem;
SaveAs3: TMenuItem;
OpenDialog2: TOpenDialog;
SaveDialog2: TSaveDialog;
Open1: TMenuItem;
SaveDialog4: TSaveDialog;
OpenDialog4: TOpenDialog;
Memo1: TMemo;
PrintDialog1: TPrintDialog;
PrinterSetupDialog1: TPrinterSetupDialog;
procedure Exit1Click(Sender: TObject);
procedure New1Click(Sender: TObject);
procedure Stabilitycircles1Click(Sender: TObject);
procedure Inputrefletion1Click(Sender: TObject);
procedure Outputrefletion1Click(Sender: TObject);
procedure ZGamma1Click(Sender: TObject);

```
procedure GammaZ1Click(Sender: TObject);
procedure LCmatching1Click(Sender: TObject);
procedure Immittancematchhing1Click(Sender: TObject);
procedure Wavelengths1Click(Sender: TObject);
procedure Oscilatercircuit1Click(Sender: TObject);
procedure Management1Click(Sender: TObject);
procedure AboutDesign1Click(Sender: TObject);
procedure Polar1Click(Sender: TObject);
procedure Rectangular1Click(Sender: TObject);
procedure Load1Click(Sender: TObject);
procedure SaveAs2Click(Sender: TObject);
procedure Save2Click(Sender: TObject);
procedure Microstripline1Click(Sender: TObject);
procedure New2Click(Sender: TObject);
procedure SaveAs3Click(Sender: TObject);
procedure Save3Click(Sender: TObject);
procedure Load2Click(Sender: TObject);
procedure Open1Click(Sender: TObject);
procedure Save1Click(Sender: TObject);
procedure SaveAs1Click(Sender: TObject);
procedure SavePatch;
procedure LoadPatch;
procedure Print1Click(Sender: TObject);
procedure PrintSetup1Click(Sender: TObject);
procedure Contents1Click(Sender: TObject);
```

private

```
{ Private declarations }
```

public

```
{ Public declarations }
```

end;

var

```
Main: TMain;
```

```
//Sparameter
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

FileVar : TextFile;

SaveName, FileName : String;

//Substate
FileVar1 : TextFile;

SaveName1, FileName1 : String;

//Patch
SaveName2 : String;

implementation

uses uuu01, uuu03, uuu04, uuu05, uuu06, uuu07, uuu09, uuu10, uuu11, uuu12,
    uuu16, uuu17, uuu13, uuu14, uuu15, uuu02, uuu19, uuu27, uuu28;

{$R *.DFM}

// Cut File Name Real
function GetReal(Data : String) : String;
begin
    Delete(Data,1,6);
    Delete(Data,Pos(',',Data),Length(Data)-Pos(',',Data)+1);
    Result := Data;
end;

// Cut File Name Imaginary
function GetIm(Data : String) : String;
begin
    Delete(Data,1,Pos(',',Data));
    Result := Data;
end;

// Cut File Name Image
function CDest(Data:String;NumberF,NumberB:integer):String;
begin
    Delete(Data,1,NumberF);
    Delete(Data,Length(Data)-NumberB+1,NumberB);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    result := Data;
end;

// Change File Name to *.bmp
function CSureName(CutName:String):String;
var l,p : integer;
begin
    l := Length(CutName);
    p := l-3;
    Delete(CutName,p,4);
    CSureName := CutName;
end;

```

```

//Save Patch
procedure TMain.SavePatch;
var FType : TextFile;
    n1, n2 : string;
begin
    if SaveDialog4.Execute then
        begin
            // Change File Name to *.bmp
            SaveName2 := SaveDialog4.FileName;
            n1 := CSureName(SaveDialog4.FileName)+'1.bmp';
            n2 := CSureName(SaveDialog4.FileName)+'2.bmp';
            AssignFile(FType,SaveDialog4.FileName);
            ReWrite(FType);
            // Write Stability
            Writeln(FType,Patch.Label11.Caption+' '+n1);
            Writeln(FType,Patch.Label12.Caption+' '+n2);
            Patch.Image1.Picture.SaveToFile(n1);
            Patch.Image2.Picture.SaveToFile(n2);
            Writeln(FType,Patch.Label1.Caption);
            Writeln(FType,Patch.Label2.Caption);
            Writeln(FType,Patch.Label3.Caption);
            Writeln(FType,Patch.Label4.Capiion);
        end;
    end;

```

```

Writeln(FType,Patch.Label5.Caption);
Writeln(FType,Patch.Label6.Caption);
Writeln(FType,Patch.Label7.Caption);
Writeln(FType,Patch.Label8.Caption);
Writeln(FType,Patch.Label9.Caption);
// Write Substate
Writeln(FType,Substate.Name);
Writeln(FType,'H = '+SubState.Edit1.Text+' mm');
Writeln(FType,'Er = '+SubState.Edit2.Text);
Writeln(FType,'T = '+SubState.Edit3.Text+' mm');
Writeln(FType,'Freq = '+SubState.Edit4.Text+' GHz');
Writeln(FType,'Zo = '+SubState.Edit5.Text+' Ohm');
// Write S Parameter
Writeln(FType,SParameter.Name);
Writeln(FType,'S11 = '+SParameter.Edit1.Text+' '+SParameter.Edit2.Text);
Writeln(FType,'S12 = '+SParameter.Edit3.Text+' '+SParameter.Edit4.Text);
Writeln(FType,'S13 = '+SParameter.Edit5.Text+' '+SParameter.Edit6.Text);
Writeln(FType,'S14 = '+SParameter.Edit7.Text+' '+SParameter.Edit8.Text);
// Write Zt
Writeln(FType,'Choose Zt');
Writeln(FType,'Re = '+Stability.Edit1.Text);
Writeln(FType,'Im = '+Stability.Edit2.Text);
CloseFile(FType);
end;
end;

```

```
// Load Patch
```

```

procedure TMain.LoadPatch;
var FType : TextFile;
    Data : Array[0..30] of String;
    Line : Integer;
begin
    line := 0;
    if OpenFileDialog4.Execute then
        begin

```

```

SaveName2 := OpenFileDialog.FileName;
AssignFile(FType,OpenDialog4.FileName);
Reset(FType);
while not eof(FType) do
begin
  Readln(FType,Data[line]);
  Inc(line);
end;
CloseFile(FType);
// Show Picture
Patch.Image1.Picture.LoadFromFile(CDest(Data[0],32,0));
Patch.Image2.Picture.LoadFromFile(CDest(Data[1],43,0));
// Show Value Form Patch
Patch.Label1.Caption:=Data[2];
Patch.Label2.Caption:=Data[3];
Patch.Label3.Caption:=Data[4];
Patch.Label4.Caption:=Data[5];
Patch.Label5.Caption:=Data[6];
Patch.Label6.Caption:=Data[7];
Patch.Label7.Caption:=Data[8];
Patch.Label8.Caption:=Data[9];
Patch.Label9.Caption:=Data[10];
// Show Value Form Substate
Substate.Edit1.Text:=CDest(Data[12],4,3);
Substate.Edit2.Text:=CDest(Data[13],5,0);
Substate.Edit3.Text:=CDest(Data[14],4,3);
Substate.Edit4.Text:=CDest(Data[15],7,4);
Substate.Edit5.Text:=CDest(Data[16],5,4);
// Show Value Form S Parameter
SParameter.Edit1.Text:=GetReal(Data[18]);
SParameter.Edit2.Text:=GetIm(Data[18]);
SParameter.Edit3.Text:=GetReal(Data[19]);
SParameter.Edit4.Text:=GetIm(Data[19]);
SParameter.Edit5.Text:=GetReal(Data[20]);
SParameter.Edit6.Text:=GetIm(Data[20]);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

SParameter.Edit7.Text:=GetReal(Data[21]);
SParameter.Edit8.Text:=GetIm(Data[21]);

// Show Value Form Stability
Stability.Edit1.Text:=CDest(Data[23],5,0);
Stability.Edit2.text:=CDest(Data[24],5,0);

// Show Form and On Click
SParameter.Button1.Click;
SubState.Button1.Click;
Main.Stabilitycircles1.Click;
Stability.BitBtn1.Click;
Compare.Button1.Click;
Admittance.Button1.Click;
Immittancemat.BitBtn1.Click;
Impedance.Button1.Click;
Wavelengths.BitBtn1.Click;
Patch.Show;
end;
end;

// Save Sparameter
procedure SaveSparameter(FileName:String);
begin
    SaveName := FileName;
    AssignFile(FileVar,FileName);
    Rewrite(FileVar);
    Writeln(FileVar,Sparameter.Edit1.Text);
    Writeln(FileVar,Sparameter.Edit2.Text);
    Writeln(FileVar,Sparameter.Edit3.Text);
    Writeln(FileVar,Sparameter.Edit4.Text);
    Writeln(FileVar,Sparameter.Edit5.Text);
    Writeln(FileVar,Sparameter.Edit6.Text);
    Writeln(FileVar,Sparameter.Edit7.Text);
    Writeln(FileVar,Sparameter.Edit8.Text);
    CloseFile(FileVar);
end;

```



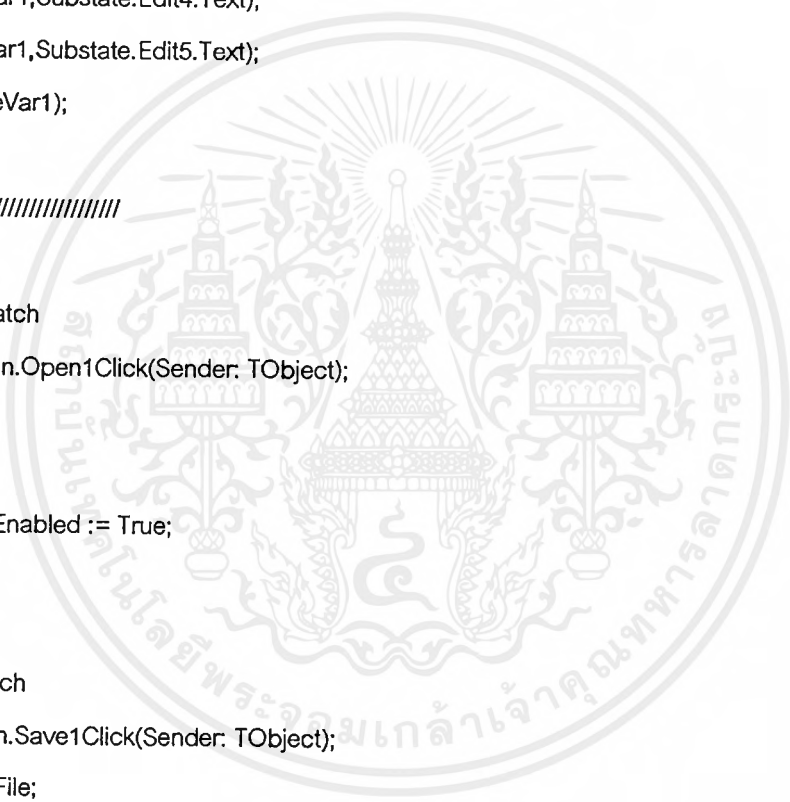
```

// Save Substate
procedure SaveSubstate(FileName1:String);
begin
    SaveName1 := FileName1;
    AssignFile(FileVar1,FileName1);
    ReWrite(FileVar1);
    WriteLn(FileVar1,Substate.Edit1.Text);
    WriteLn(FileVar1,Substate.Edit2.Text);
    WriteLn(FileVar1,Substate.Edit3.Text);
    WriteLn(FileVar1,Substate.Edit4.Text);
    WriteLn(FileVar1,Substate.Edit5.Text);
    CloseFile(FileVar1);
end;
////////////////////

// Open Form Patch
procedure TMain.Open1Click(Sender: TObject);
begin
    LoadPatch;
    Main.Save1.Enabled := True;
end;

// Save Form Patch
procedure TMain.Save1Click(Sender: TObject);
var FType : TextFile;
    n1, n2 : string;
begin
    // Change File Name to *.bmp
    n1 := CSureName(SaveName2)+'1.bmp';
    n2 := CSureName(SaveName2)+'2.bmp';
    AssignFile(FType,SaveName2);
    ReWrite(FType);
    // Write Stability
    WriteLn(FType,Patch.Label11.Caption+' : '+n1);

```



```

Writeln(FType,Patch.Label12.Caption+' : '+n2);
Patch.Image1.Picture.SaveToFile(n1);
Patch.Image2.Picture.SaveToFile(n2);
Writeln(FType,Patch.Label1.Caption);
Writeln(FType,Patch.Label2.Caption);
Writeln(FType,Patch.Label3.Caption);
Writeln(FType,Patch.Label4.Caption);
Writeln(FType,Patch.Label5.Caption);
Writeln(FType,Patch.Label6.Caption);
Writeln(FType,Patch.Label7.Caption);
Writeln(FType,Patch.Label8.Caption);
Writeln(FType,Patch.Label9.Caption);
// Write Substate
Writeln(FType,Substate.Name);
Writeln(FType,'H = '+SubState.Edit1.Text+' mm');
Writeln(FType,'Er = '+SubState.Edit2.Text);
Writeln(FType,'T = '+SubState.Edit3.Text+' mm');
Writeln(FType,'Freq = '+SubState.Edit4.Text+' GHz');
Writeln(FType,'Zo = '+SubState.Edit5.Text+' Ohm');
// Write S Parameter
Writeln(FType,SParameter.Name);
Writeln(Ftype,'S11 = '+SParameter.Edit1.Text+', '+SParameter.Edit2.Text);
Writeln(Ftype,'S12 = '+SParameter.Edit3.Text+', '+SParameter.Edit4.Text);
Writeln(Ftype,'S13 = '+SParameter.Edit5.Text+', '+SParameter.Edit6.Text);
Writeln(Ftype,'S14 = '+SParameter.Edit7.Text+', '+SParameter.Edit8.Text);
// Write Zt
Writeln(FType,'Choose Zt');
Writeln(FType,'Re = '+Stability.Edit1.Text);
Writeln(FType,'Im = '+Stability.Edit2.Text);
CloseFile(FType);
end;

// Save As Form Patch
procedure TMain.SaveAs1Click(Sender: TObject);
begin

```

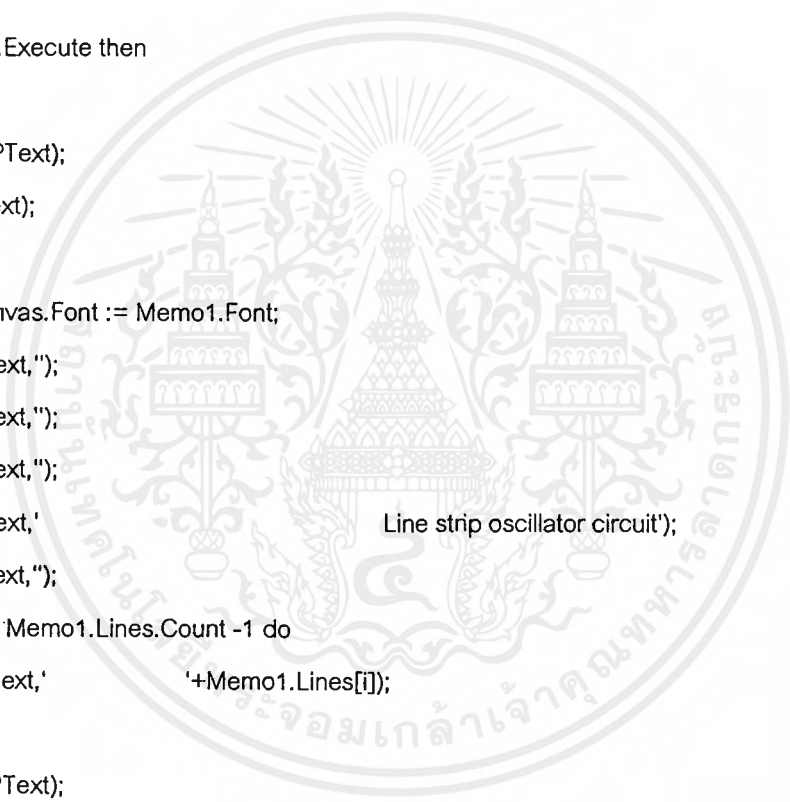
```

    SavePatch;
end;

// Printer
procedure TMain.Print1Click(Sender: TObject);
var i : Integer;
    PText : TextFile;
begin
    SavePatch;
    Memo1.Lines.LoadFromFile(OpenDialog4.FileName);
    inherited;
    if PrintDialog1.Execute then
        begin
            AssignPm(PText);
            Rewrite(PText);
            try
                Printer.Canvas.Font := Memo1.Font;
                Writeln(PText,"");
                Writeln(PText,"");
                Writeln(PText,"");
                Writeln(PText,'
                        Line strip oscillator circuit');
                Writeln(PText,"");
                for i := 0 to Memo1.Lines.Count -1 do
                    writeln(PText,'
                        '+Memo1.Lines[i]);
            finally
                CloseFile(PText);
            end;
        end;
end;

// Setup Printer
procedure TMain.PrintSetup1Click(Sender: TObject);
begin
    PrinterSetupDialog1.Execute;
end;

```



```
// New Form S parameter
procedure TMain.New1Click(Sender: TObject);
begin
    Sparameter.Show;
    Main.SaveAs2.Enabled := True;
end;
```

```
// Open Form S parameter
procedure TMain.Load1Click(Sender: TObject);
var Data:Array[0..7] of String;
    DLine:integer;
begin
    if Main.OpenDialog1.Execute then
    begin
        DLine := 0;
        FileName := OpenDialog1.FileName;
        SaveName := FileName;
        AssignFile(FileVar,FileName);
        Reset(FileVar);
        while not eof(FileVar) do
            begin
                Readln(FileVar,Data[DLine]);
                Inc(DLine);
            end;
        closeFile(FileVar);
        Sparameter.Edit1.Text:=Data[0];
        Sparameter.Edit2.Text:=Data[1];
        Sparameter.Edit3.Text:=Data[2];
        Sparameter.Edit4.Text:=Data[3];
        Sparameter.Edit5.Text:=Data[4];
        Sparameter.Edit6.Text:=Data[5];
        Sparameter.Edit7.Text:=Data[6];
        Sparameter.Edit8.Text:=Data[7];
        Sparameter.Show;
```

```

Main.SaveAs2.Enabled := True;
Main.Save2.Enabled := True;
end;
end;

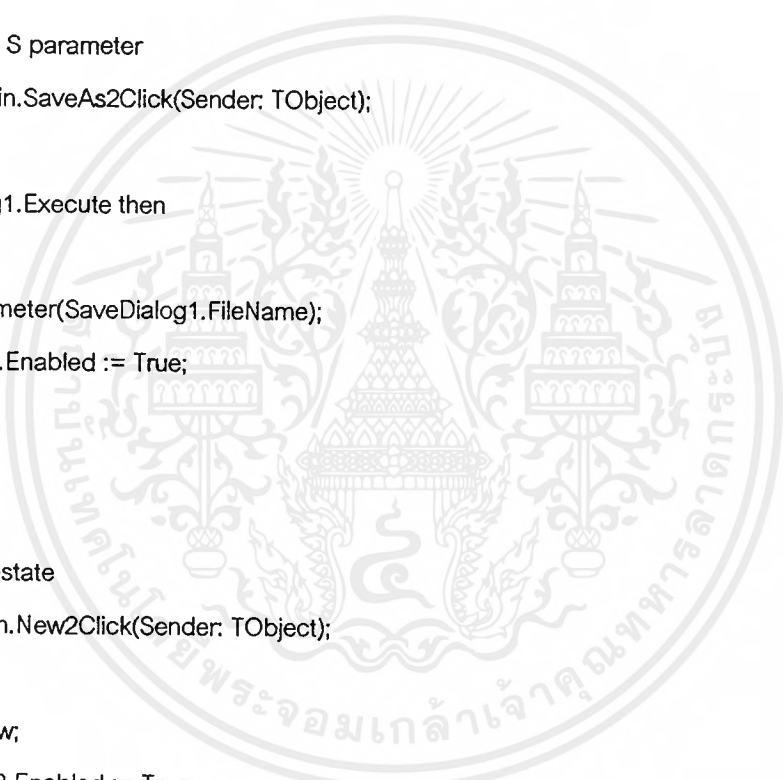
// Save Form S parameter
procedure TMain.Save2Click(Sender: TObject);
begin
    SaveSparameter(SaveName);
end;

// Save As Form S parameter
procedure TMain.SaveAs2Click(Sender: TObject);
begin
    if SaveDialog1.Execute then
    begin
        SaveSparameter(SaveDialog1.FileName);
        Main.Save2.Enabled := True;
    end;
end;

// New Form Substate
procedure TMain.New2Click(Sender: TObject);
begin
    Substate.Show;
    Main.SaveAs3.Enabled := True;
end;

// Open Form Substate
procedure TMain.Load2Click(Sender: TObject);
var Data1:Array[0..4] of String;
    DLine1:integer;
begin
    if Main.OpenDialog2.Execute then
    begin

```



```

DLine1 := 0;
FileName1 := OpenFileDialog2.FileName;
SaveName1 := FileName1;
AssignFile(FileVar1,FileName1);
Reset(FileVar1);
while not eof(FileVar1) do
begin
  ReadLn(FileVar1,Data1[DLine1]);
  Inc(DLine1);
end;
closeFile(FileVar1);
Substate.Edit1.Text:=Data1[0];
Substate.Edit2.Text:=Data1[1];
Substate.Edit3.Text:=Data1[2];
Substate.Edit4.Text:=Data1[3];
Substate.Edit5.Text:=Data1[4];
Substate.Show;
Main.SaveAs3.Enabled := True;
Main.Save3.Enabled := True;
end;
end;

// Save Form Substate
procedure TMain.Save3Click(Sender: TObject);
begin
  SaveSubstate(SaveName1);
end;

// Save As Form Substate
procedure TMain.SaveAs3Click(Sender: TObject);
begin
  if SaveDialog2.Execute then
begin
  SaveSubstate(SaveDialog2.FileName);
  Main.Save3.Enabled := True;

```

```
end;

end;

procedure TMain.Stabilitycircles1Click(Sender: TObject);
begin
    Stability.Show;
end;

procedure TMain.Inputrefletion1Click(Sender: TObject);
begin
    GammaT.Show;
end;

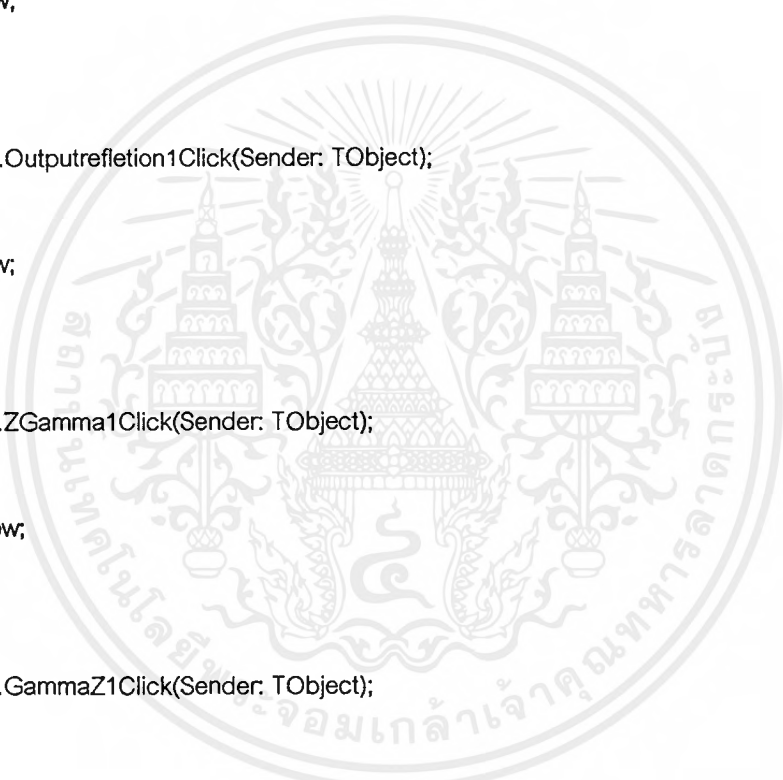
procedure TMain.Outputrefletion1Click(Sender: TObject);
begin
    GammaL.Show;
end;

procedure TMain.ZGamma1Click(Sender: TObject);
begin
    ZandYtoG.Show;
end;

procedure TMain.GammaZ1Click(Sender: TObject);
begin
    GtoZandY.Show;
end;

procedure TMain.LCmatching1Click(Sender: TObject);
begin
    LCmatching.Show;
end;

procedure TMain.Immittancematchhing1Click(Sender: TObject);
begin
```



```
Admittance.Show;
end;

procedure TMain.Wavelengths1Click(Sender: TObject);
begin
    Impedance.Show;
end;

procedure TMain.Oscilatercircuit1Click(Sender: TObject);
begin
    Oscillator.Show;
end;

procedure TMain.Management1Click(Sender: TObject);
begin
    Management.ShowModal;
end;

procedure TMain.AboutDesign1Click(Sender: TObject);
begin
    About.ShowModal;
end;

procedure TMain.MicrostripLine1Click(Sender: TObject);
begin
    Microstrip.Show;
end;

procedure TMain.Exit1Click(Sender: TObject);
begin
    Main.Close;
end;

procedure TMain.Polar1Click(Sender: TObject);
begin
    Sparameter.Label5.Caption := 'Real';
```



```
Sparameter.Label6.Caption := 'Angle';
Main.Polar1.Checked := True;
Main.Rectangular1.Checked := False;
end;

procedure TMain.Rectangular1Click(Sender: TObject);
begin
    Sparameter.Label5.Caption := 'Real';
    Sparameter.Label6.Caption := 'Imaginary';
    Main.Polar1.Checked := False;
    Main.Rectangular1.Checked := True;
end;

procedure TMain.Contents1Click(Sender: TObject);
begin
    Memo1.Lines.LoadFromFile('Introduction.txt');
    Help.Show;
end;

end.
```



unit uuu01;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Math;

type

TSubstate = class(TForm)

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Edit3: TEdit;

Button1: TButton;

Button2: TButton;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Edit4: TEdit;

Edit5: TEdit;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

procedure Button2Click(Sender: TObject);

procedure Button1Click(Sender: TObject);

private

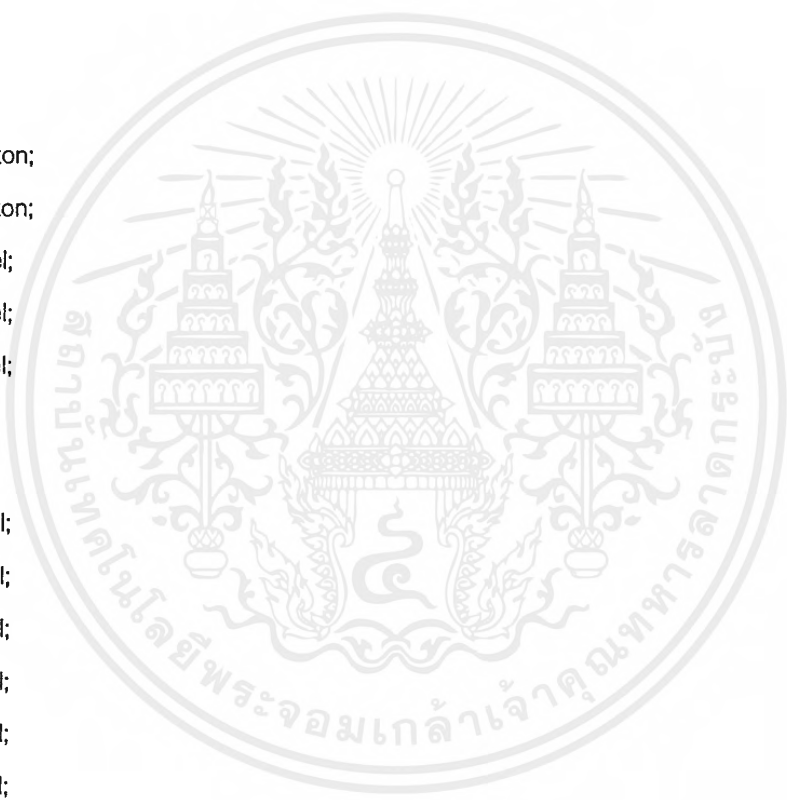
{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var



```
Substate: TSubstate;  
wref, length11, q2 : extended;  
implementation  
  
uses uuu, uuu02, uuu04, uuu023, uuu024, uuu025, uuu026, uuu010;  
  
{R *.DFM}
```

```
procedure TSubstate.Button1Click(Sender: TObject);  
var width, qq1, i, w, x0, x1, x2, x3, z, z1, z2, z3, z4, z5, z6, z7,  
    j, jj, jjj, jjjj, k, kk, kkk, kkkk, l, ll, ll, ll, ll, qq1, qq3, qq4, qq5,  
    eref : extended;  
    r, x, f, c, u1, u, v, uu, vv, i1, i2, j1, j2, xx, xx1, xx2, rr, rr1, rr2,  
    ss, tt, aa1, bb1, aa2, bb2 : extended; //Region 1-4  
    unitL, unitC : string; //Region 1-4  
begin  
// Other  
    Main.Save3.Enabled := False;  
    Main.SaveAs3.Enabled := False;  
// Recive value  
    qq1 := StrToFloat(Substate.Edit1.Text);  
    qq2 := StrToFloat(Substate.Edit5.Text);  
    qq3 := StrToFloat(Substate.Edit2.Text);  
    qq4 := StrToFloat(Substate.Edit3.Text);  
    qq5 := StrToFloat(Substate.Edit4.Text);  
// Width  
    i:= 0;  
    x0:= 0;  
    x1:= 0;  
    x2:= 0;  
    x3:= 0;  
    jjj:= 0;  
    kkk:= 0;  
    ll:= 0;
```

```
w := (377*q1)/(q2*sqrt(q3));
```

```
{One}
```

```
qq1:= 1.735*power(q3,-0.0724)*power(q1,0.836)*power(i,0.164);
```

```
z:= w-(i+qq1);
```

```
z:= sqrt(power(z,2));
```

```
while i < 100 do
```

```
begin
```

```
qq1:= 1.735*power(q3,-0.0724)*power(q1,0.836)*power(i,0.164);
```

```
z1:= w-(i+qq1);
```

```
z1:= sqrt(power(z1,2));
```

```
if z > z1 then
```

```
begin
```

```
z:= z1;
```

```
j:= i;
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
x0:= x0+1;
```

```
end;
```

```
i:= i+1;
```

```
end;
```

```
if x0 = i then
```

```
begin
```

```
j:= 0;
```

```
end;
```

```
jj:= j;
```

```
z2:= j+power(j,2);
```

```
{two}
```

```
if w > z2 then
```

```
begin
```

```
qq1:= 1.735*power(q3,-0.0724)*power(q1,0.836)*power(j,0.164);
```

```
z2:= w-(j+qq1);
```

```
z2:= sqrt(power(z2,2));
```

```
while j < jj+10 do
```

```
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

qq1:= 1.735*power(q3,-0.0724)*power(q1,0.836)*power(j,0.164);
z3:= w-(j+qq1);
z3:= sqrt(power(z3,2));
if z2 > z3 then
begin
z2:= z3;
k:= j;
end
else
begin
x1:= x1+1;
end;
j:= j+0.1;
jjj:= jjj+1;
end;
end
else
begin
if jj-10 < 0 then
begin
jjj:= 0;
end
else
begin
jjj:= jj-10;
end;
qq1:= 1.735*power(q3,-0.0724)*power(q1,0.836)*power(j,0.164);
z2:= w-(j+qq1);
z2:= sqrt(power(z2,2));
while j > jjj do
begin
qq1:= 1.735*power(q3,-0.0724)*power(q1,0.836)*power(j,0.164);
z3:= w-(j+qq1);
z3:= sqrt(power(z3,2));
if z2 > z3 then

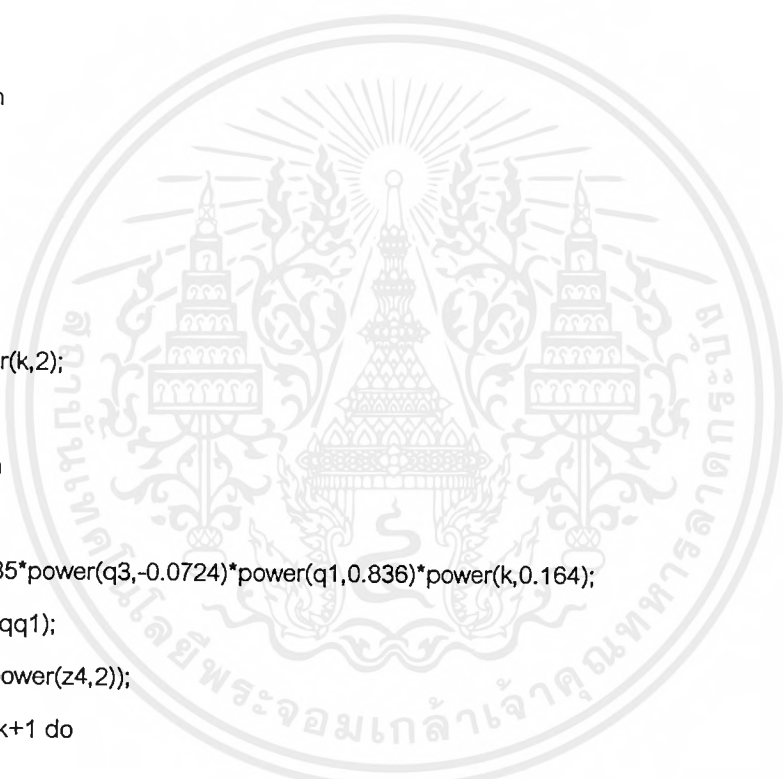
```



```

begin
  z2:= z3;
  k:= j;
end
else
begin
  x1:= x1+1;
end;
j:= J-0.1;
jjj:= jjj+1;
end;
end;
if x1 = jjj then
begin
  k:= jj;
end;
kk:= k;
z4:= k+power(k,2);
{three}
if w > z4 then
begin
  qq1:= 1.735*power(q3,-0.0724)*power(q1,0.836)*power(k,0.164);
  z4:= w-(k+qq1);
  z4:= sqrt(power(z4,2));
  while k < kk+1 do
  begin
    qq1:= 1.735*power(q3,-0.0724)*power(q1,0.836)*power(k,0.164);
    z5:= w-(k+qq1);
    z5:= sqrt(power(z5,2));
    if z4 > z5 then
    begin
      z4:= z5;
      l:= k;
    end
  else

```



```

begin
  x2:= x2+1;
end;
k:= k+0.01;
kkk:= kkk+1;
end;
end
else
begin
if kk-1 < 0 then
begin
  kkk:= 0;
end
else
begin
  kkk:= kk-1;
end;
qq1:= 1.735*power(q3,-0.0724)*power(q1,0.836)*power(k,0.164);
z4:= w-(k+qq1);
z4:= sqrt(power(z4,2));
while k > kkk do
begin
  qq1:= 1.735*power(q3,-0.0724)*power(q1,0.836)*power(k,0.164);
  z5:= w-(k+qq1);
  z5:= sqrt(power(z5,2));
  if z4 > z5 then
begin
  z4:= z5;
  l:= k;
end
else
begin
  x2:= x2+1;
end;
k:= k-0.01;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    kkk:= kkk+1;
end;
end;
if x2 = kkk then
begin
    l:= kk;
end;
ll:= l;
z6:= l+power(l,2);
{four}
if w > z6 then
begin
    qq1:= 1.735*power(q3,-0.0724)*power(q1,0.836)*power(l,0.164);
    z6:= w-(l+qq1);
    z6:= sqrt(power(z6,2));
    while l < ll+0.1 do
    begin
        qq1:= 1.735*power(q3,-0.0724)*power(q1,0.836)*power(l,0.164);
        z7:= w-(l+qq1);
        z7:= sqrt(power(z7,2));
        if z6 > z7 then
        begin
            z6:= z7;
            width:= l;
        end
        else
        begin
            x3:= x3+1;
        end;
        l:= l+0.001;
        ll:= ll+1;
    end;
end
else
begin

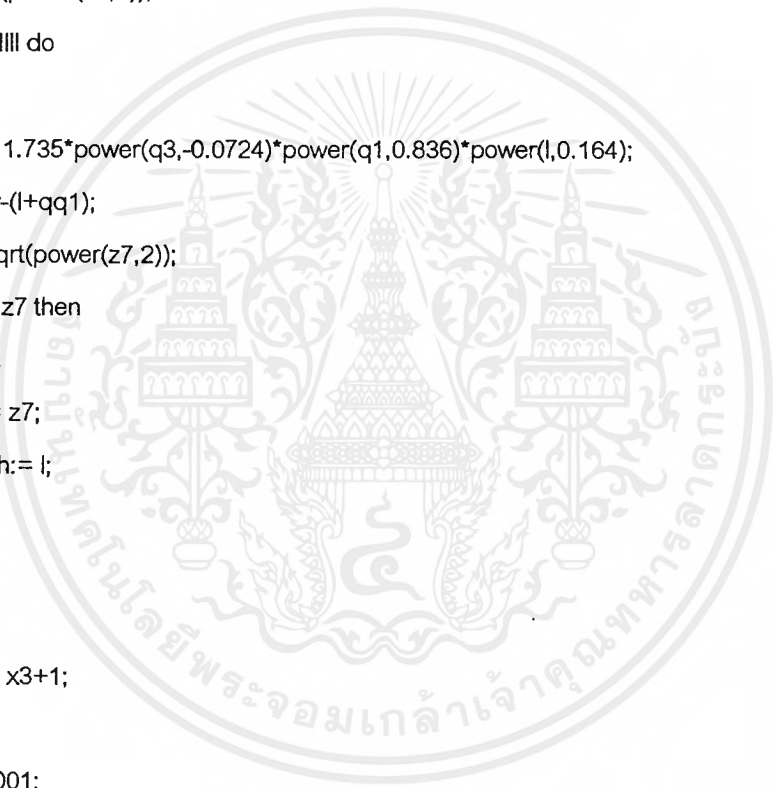
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if  $l - 0.1 < 0$  then
  begin
     $l_{III} := 0$ ;
  end
else
  begin
     $l_{III} := l - 0.1$ ;
  end;
 $qq1 := 1.735 * \text{power}(q3, -0.0724) * \text{power}(q1, 0.836) * \text{power}(l, 0.164)$ ;
 $z7 := w - (l + qq1)$ ;
 $z6 := \text{sqrt}(\text{power}(z6, 2))$ ;
while  $l > l_{III}$  do
  begin
     $qq1 := 1.735 * \text{power}(q3, -0.0724) * \text{power}(q1, 0.836) * \text{power}(l, 0.164)$ ;
     $z7 := w - (l + qq1)$ ;
     $z6 := \text{sqrt}(\text{power}(z7, 2))$ ;
    if  $z6 > z7$  then
      begin
         $z6 := z7$ ;
         $\text{width} := l$ ;
      end
    else
      begin
         $x3 := x3 + 1$ ;
      end;
     $l := l - 0.001$ ;
     $l_{III} := l_{III} + 1$ ;
  end;
end;
if  $x3 = l_{III}$  then
  begin
     $\text{width} := l$ ;
  end;
 $w_{ref} := \text{width} + (q4/\pi) * (\ln((2*q1)/q4) + 1)$ ;
// Wavelength

```



```

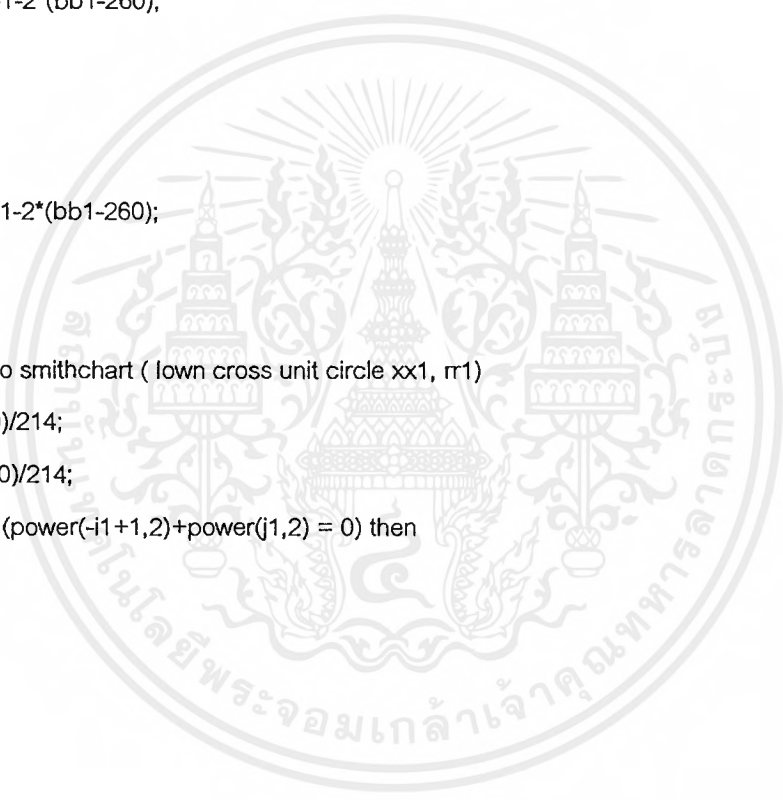
eref := ((q3+1)/2)+((q3-1)/2)*power((1+(12*q1/wref)), -0.5);
length11 := 300/(q5*sqrt(eref));
// Show value
Microstrip.Label1.Caption := 'Width line strip =
'+FloatToStr(round(wref*100000)/100000)+' mm.';
Microstrip.Label2.Caption := 'Wavelength =
'+FloatToStr(round(length11*100000)/100000)+' mm.';
// Calculate L, C Region1-4
if (Region1.Visible = True) or (Region2.Visible = True) or
(Region3.Visible = True) or (Region4.Visible = True) then
begin
// Recive value
r := StrToFloat(LCmatching.Edit1.Text);
x := StrToFloat(LCmatching.Edit2.Text);
f := StrToFloat(Substate.Edit4.Text);
z := StrToFloat(Substate.Edit5.Text);
// Calculate feed & across point (uu, vv, ss, tt)
u := (power(r,2)-1)+power(x,2);
u := u/(power(r+1,2)+power(x,2));
v := (2*x)/(power(r+1,2)+power(x,2));
uu := 260+(u*214);
vv := 260-(v*214);
ss := 260-(u*214);
tt := 260+(v*214);
// Cross unit circle point (aa1, bb1 and aa1, bb2)
ll := sqrt(power(260-uu,2)+power(260-vv,2));
aa1 := (55640-power(ll,2))/214;
bb1 := sqrt(abs(power(ll,2)-power(aa1-260,2)))+260;
aa2 := (55640+power(ll,2))/214;
bb2 := sqrt(abs(power(ll,2)-power(aa2-260,2)))+260;
if uu > 260 then
begin
if vv > 260 then
begin
bb2:= bb1-2*(bb1-260);

```

```

end
else
begin
    bb1:= bb1-2*(bb1-260);
end;
end
else
begin
if w > 260 then
begin
    bb1:= bb1-2*(bb1-260);
end
else
begin
    bb2:= bb1-2*(bb1-260);
end;
end;
// Convert xy to smithchart ( lown cross unit circle xx1, r1)
i1 := (aa1-260)/214;
j1 := -(bb1-260)/214;
if (j1 = 0) and (power(-i1+1,2)+power(j1,2) = 0) then
begin
    xx1 := 0;
end
else
begin
    xx1 := 2*j1/(power(-i1+1,2)+power(j1,2));
end;
if (xx1 = 0) and (j1 = 0) then
begin
if (1-power(i1,2)-power(j1,2) = 0) and (power(i1,2)+power(j1,2)-(2*i1)+1 = 0) then
begin
    rr1 := 1E10;
end
else

```



```

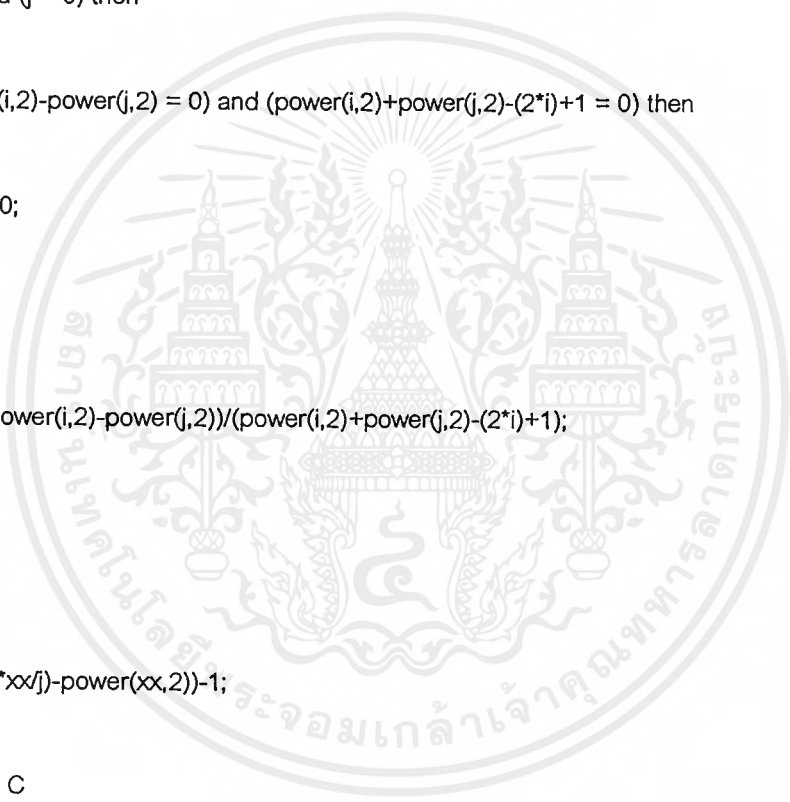
begin
    rr1 := (1-power(i1,2)-power(j1,2))/(power(i1,2)+power(j1,2)-(2*i1)+1);
end;
end
else
begin
    rr1 := sqrt((2*xx1/j1)-power(xx1,2))-1;
end;
// Convert xy to smithchart ( top cross unit circle xx2, rr2)
i2 := (aa2-260)/214;
j2 := -(bb2-260)/214;
if (j2 = 0) and (power(-i2+1,2)+power(j2,2) = 0) then
begin
    xx2 := 0;
end
else
begin
    xx2 := 2*j2/(power(-i2+1,2)+power(j2,2));
end;
if (xx2 = 0) and (j2 = 0) then
begin
if (1-power(i2,2)-power(j2,2) = 0) and (power(i2,2)+power(j2,2)-(2*i2)+1 = 0) then
begin
    rr2 := 1E10;
end
else
begin
    rr2 := (1-power(i2,2)-power(j2,2))/(power(i2,2)+power(j2,2)-(2*i2)+1);
end;
end
else
begin
    rr2 := sqrt((2*xx2/j2)-power(xx2,2))-1;
end;
// Convert xy to smithchart (across point xx, rr)

```

```

i := (ss-260)/214;
j := -(tt-260)/214;
if (j = 0) and (power(-i+1,2)+power(j,2) = 0) then
begin
xx := 0;
end
else
begin
xx := 2*j/(power(-i+1,2)+power(j,2));
end;
if (xx = 0) and (j = 0) then
begin
if (1-power(i,2)-power(j,2) = 0) and (power(i,2)+power(j,2)-(2*i)+1 = 0) then
begin
rr := 1E10;
end
else
begin
rr := (1-power(i,2)-power(j,2))/(power(i,2)+power(j,2)-(2*i)+1);
end;
end
else
begin
rr := sqrt((2*xx/j)-power(xx,2))-1;
end;
// Calculate L, C
if uu > 260 then
begin
if ww > 260 then
begin
l := -(z*(xx1-xx))/(2*pi*f);
c := xx2/(2*pi*f*z);
end
else
begin

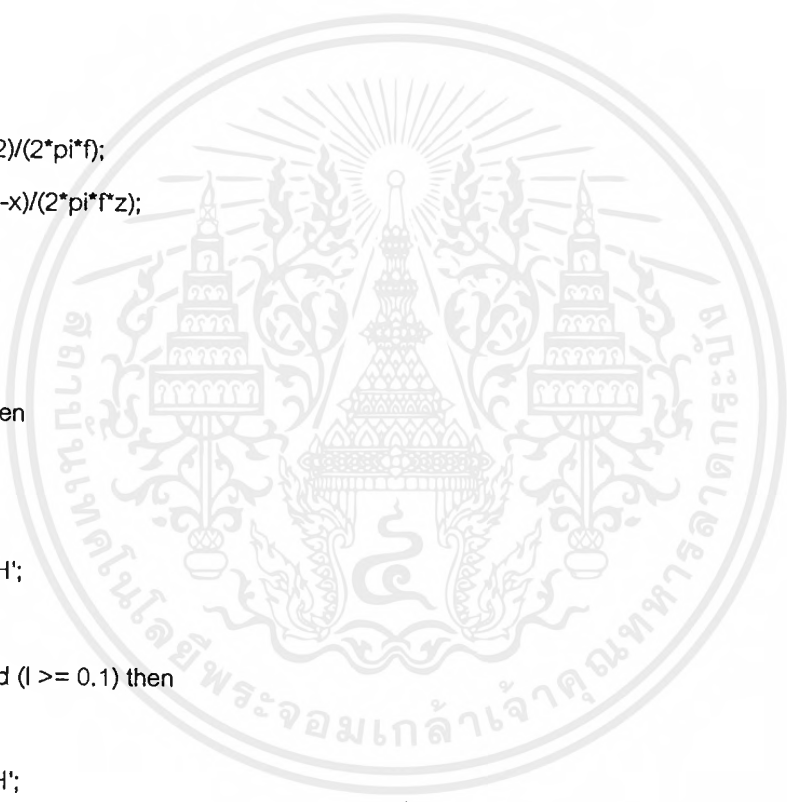
```



```

l:= -z/(2*pi*f*xx2);
c:= 1/(2*pi*f*z*(xx1-xx));
end;
end
else
begin
if w > 260 then
begin
l:= z/(2*pi*f*(xx1-x));
c:= -1/(2*pi*f*z*xx2);
end
else
begin
l:= (z*xx2)/(2*pi*f);
c:= -(xx1-x)/(2*pi*f*z);
end;
end;
// Unit L
if l >= 100 then
begin
l := l/1000;
unitL := ' uH';
end;
if (l < 100) and (l >= 0.1) then
begin
unitL := ' nH';
end;
if (l < 0.1) and (l >= 0.0001) then
begin
l := l*1000;
unitL := ' pH';
end;
if l < 0.0001 then
begin
l := l*1000000;

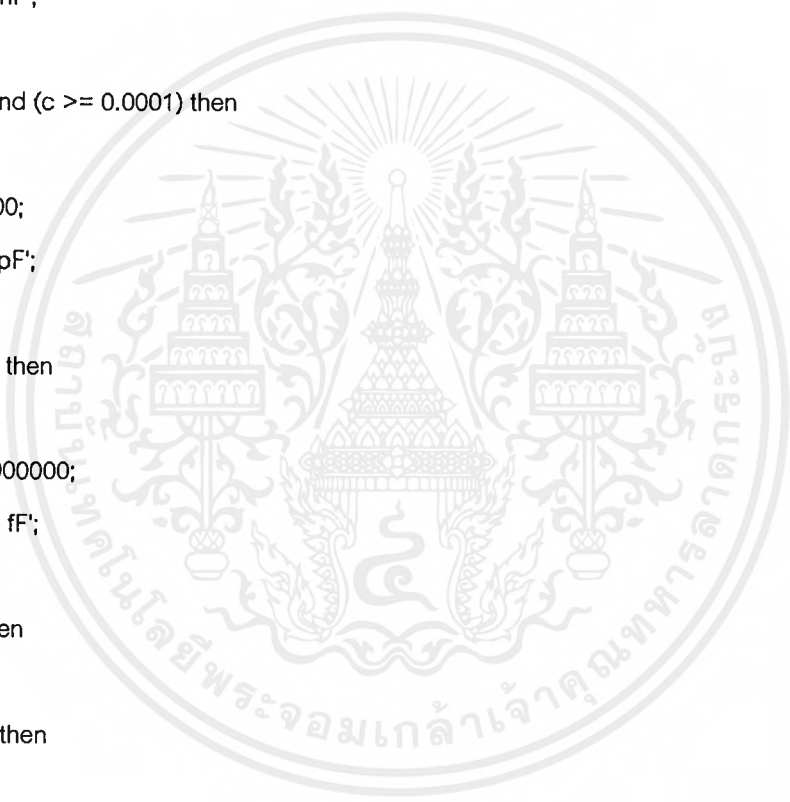
```



```

    unitL := 'fH';
end;
// Unit C
if c >= 100 then
begin
    c := c/1000;
    unitC := 'uF';
end;
if (c < 100) and (c >= 0.1) then
begin
    unitC := 'nF';
end;
if (c < 0.1) and (c >= 0.0001) then
begin
    c := c*1000;
    unitC := 'pF';
end;
if c < 0.0001 then
begin
    c := c*1000000;
    unitC := 'fF';
end;
if uu > 260 then
begin
    if vv > 260 then
begin
    // Show value
    Region3.label2.caption := 'L = '+floattostr(round(l*1000000)/1000000)+(unitL);
    Region3.label3.caption := 'C = '+floattostr(round(c*1000000)/1000000)+(unitC);
end
    else
begin
    // Show value
    Region1.label2.caption := 'L = '+floattostr(round(l*1000000)/1000000)+(unitL);
    Region1.label3.caption := 'C = '+floattostr(round(c*1000000)/1000000)+(unitC);

```



```

    end;

end

else

begin

if vv > 260 then

begin

// Show value

Region2.label2.caption := 'L = '+floattostr(round(l*1000000)/1000000)+(unitL);

Region2.label3.caption := 'C = '+floattostr(round(c*1000000)/1000000)+(unitC);

end

else

begin

// Show value

Region4.label2.caption := 'L = '+floattostr(round(l*1000000)/1000000)+(unitL);

Region4.label3.caption := 'C = '+floattostr(round(c*1000000)/1000000)+(unitC);

end;

end;

end;

// Other

if Stability.BitBtn1.Default = False then

begin

Main.Oscilatercircuit1.Enabled := True;

end;

Main.LCmatching1.Enabled := True;

Main.MicrostripLine1.Enabled := True;

Substate.Close;

end;

procedure TSubstate.Button2Click(Sender: TObject);

begin

Main.Save3.Enabled := False;

Main.SaveAs3.Enabled := False;

Substate.Close;

end;

end.

```

```

unit uuu02;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TMicrostrip = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Panel1: TPanel;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Microstrip: TMicrostrip;

implementation

{$R *.DFM}

procedure TMicrostrip.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  Close;
end;

end.

```



unit uu03;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Math;

type

TSPparameter = class(TForm)

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Edit3: TEdit;

Edit4: TEdit;

Edit5: TEdit;

Edit6: TEdit;

Edit7: TEdit;

Edit8: TEdit;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Button1: TButton;

Button2: TButton;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

procedure Button2Click(Sender: TObject);

procedure Button1Click(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{ Public declarations }

end;

var
  Sparameter: TSpParameter;

  s11r, s11i, s21r, s21i, s12r, s12i, s22r, s22i, mul1, mul2, add1, add2, sub1, sub2 :
extended;

  str1, str2, str3 : string;

implementation

uses uuu, uuu04;

{$R *.DFM}

{-----}
procedure multiply(a1,a2,b1,b2:extended);
begin
  mul1 := (a1*b1)-(a2*b2);
  mul2 := (a1*b2)+(a2*b1);
end;
{-----}
procedure add(a1,a2,b1,b2:extended);
begin
  add1 := a1+b1;
  add2 := a2+b2;
end;
{-----}
procedure subtract(a1,a2,b1,b2:extended);
begin
  sub1 := a1-b1;
  sub2 := a2-b2;
end;
{-----}
function absolut(a,b:extended):extended;

```



```

var    c : extended;

begin

    c := power(a,2)+power(b,2);
    absolut := sqrt(c);

end;

{—————}

```

```

function cosine(a,b:extended):extended;
var    c : extended;

begin

    c := b*pi/180;
    cosine := a*cos(c);

end;

{—————}

```

```

function sine(a,b:extended):extended;
var    c : extended;

begin

    c := b*pi/180;
    sine := a*sin(c);

end;

{—————}

```

```

function ang(a,b:extended):extended;
var    c : extended;

begin

    c := arctan2(b,a);
    ang := c*180/pi;

end;

{—————}

```

```

procedure TSparameter.Button1Click(Sender: TObject);
var mulr1, muli1, mulr2, muli2, mulr3, muli3, mulr4, muli4, deltar, deltai,
    h1, c1r, c1i, c2r, c2i, abs1, abs2, abs3, abs4, rld, rsd,
    clr, cli, csr, csi, xin, yin, xout, yout : extended;
    xin1, yin1, xout1, yout1, ix1, ix2, iy1, iy2, ox1, ox2, oy1, oy2 : integer;
    dm da, ak, rs, csm, csa, rl, clm, cla : extended;

begin

```

```
// Other
```

```
Main.Save2.Enabled := False;
```

```
Main.SaveAs2.Enabled := False;
```

```
// Recive Value
```

```
s11r := StrToFloat(Sparameter.Edit1.Text);
```

```
s11i := StrToFloat(Sparameter.Edit2.Text);
```

```
s21r := StrToFloat(Sparameter.Edit3.Text);
```

```
s21i := StrToFloat(Sparameter.Edit4.Text);
```

```
s12r := StrToFloat(Sparameter.Edit5.Text);
```

```
s12i := StrToFloat(Sparameter.Edit6.Text);
```

```
s22r := StrToFloat(Sparameter.Edit7.Text);
```

```
s22i := StrToFloat(Sparameter.Edit8.Text);
```

```
if Sparameter.Label6.Caption = 'Angle' then
```

```
begin
```

```
  s11r :=
```

```
cosine(StrToFloat(Sparameter.Edit1.Text),StrToFloat(Sparameter.Edit2.Text));
```

```
  s11i := sine(StrToFloat(Sparameter.Edit1.Text),StrToFloat(Sparameter.Edit2.Text));
```

```
  s21r :=
```

```
cosine(StrToFloat(Sparameter.Edit3.Text),StrToFloat(Sparameter.Edit4.Text));
```

```
  s21i := sine(StrToFloat(Sparameter.Edit3.Text),StrToFloat(Sparameter.Edit4.Text));
```

```
  s12r :=
```

```
cosine(StrToFloat(Sparameter.Edit5.Text),StrToFloat(Sparameter.Edit6.Text));
```

```
  s12i := sine(StrToFloat(Sparameter.Edit5.Text),StrToFloat(Sparameter.Edit6.Text));
```

```
  s22r :=
```

```
cosine(StrToFloat(Sparameter.Edit7.Text),StrToFloat(Sparameter.Edit8.Text));
```

```
  s22i := sine(StrToFloat(Sparameter.Edit7.Text),StrToFloat(Sparameter.Edit8.Text));
```

```
end;
```

```
// Calculate dm,da,ak
```

```
multiply(s11r,s11i,s22r,s22i);
```

```
mulr1 := mul1;
```

```
muli1 := mul2;
```

```
multiply(s12r,s12i,s21r,s21i);
```

```
mulr2 := mul1;
```

```
muli2 := mul2;
```

```
h1 := absolut(mulr2,muli2);
```

```

subtract(mulr1,muli1,mulr2,muli2);
deltar := sub1;
deltai := sub2;
dm := absolut(deltar,deltai);
da := ang(deltar,deltai);
multiply(deltar,deltai,s22r,-1*s22i);
mulr3 := mul1;
muli3 := mul2;
subtract(s11r,s11i,mulr3,muli3);
c1r := sub1;
c1i := sub2;
multiply(deltar,deltai,s11r,-1*s11i);
mulr4 := mul1;
muli4 := mul2;
subtract(s22r,s22i,mulr4,muli4);
c2r := sub1;
c2i := sub2;
if h1 = 0 then
begin
ak := 1e+20;
end
else
begin
Stability.BitBtn1.Enabled := True;
abs1 := absolut(s11r,s11i);
abs2 := absolut(s22r,s22i);
ak := (1-power(abs1,2)-power(abs2,2)+power(dm,2))/(2*h1);
end;
// Calculate rl,rs,csm,clm,cla,csa
abs3 := absolut(s11r,s11i);
abs4 := absolut(s22r,s22i);
rsd := power(abs3,2)-power(dm,2);
rld := power(abs4,2)-power(dm,2);
rl := absolut(mulr2/rld,muli2/rld);
rs := absolut(mulr2/rsd,muli2/rsd);

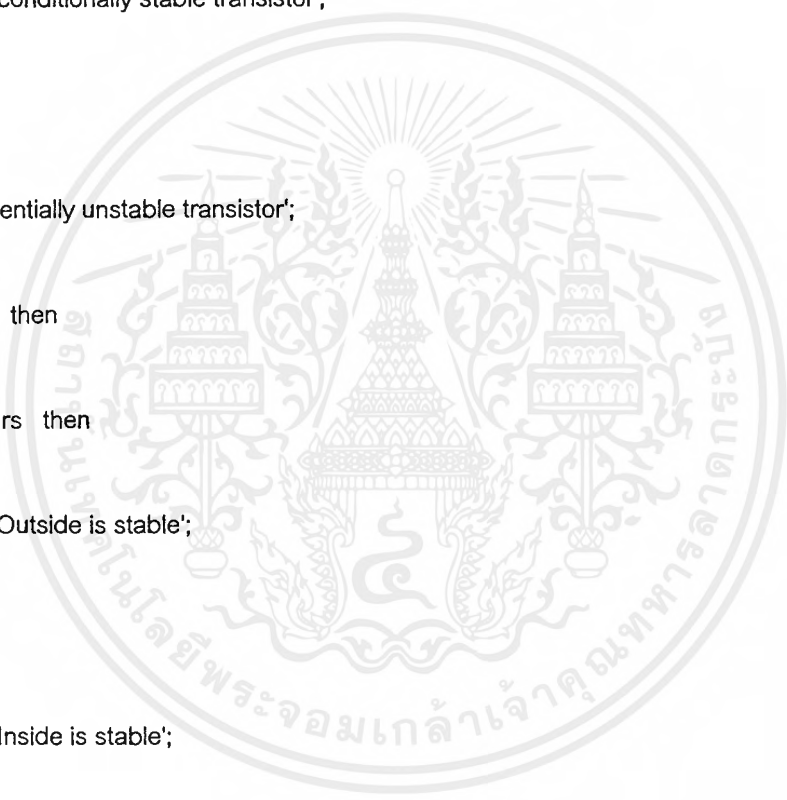
```



```

clr := c2r/rld;
cli := (-1)*c2i/rld;
csr := c1r/rsd;
csi := (-1)*c1i/rsd;
clm := absolut(clr,cli);
csm := absolut(csr,csi);
cla := ang(clr,cli);
csa := ang(csr,csi);
if (dm < 1) and (ak >= 1) then
begin
str1 := 'Unconditionally stable transistor';
end
else
begin
str1 := 'Potentially unstable transistor';
end;
if abs4 < 1 then
begin
if csm > rs then
begin
str2 := 'Outside is stable';
end
else
begin
str2 := 'Inside is stable';
end;
end
else
begin
if csm > rs then
begin
str2 := 'Inside is stable';
end
else
begin

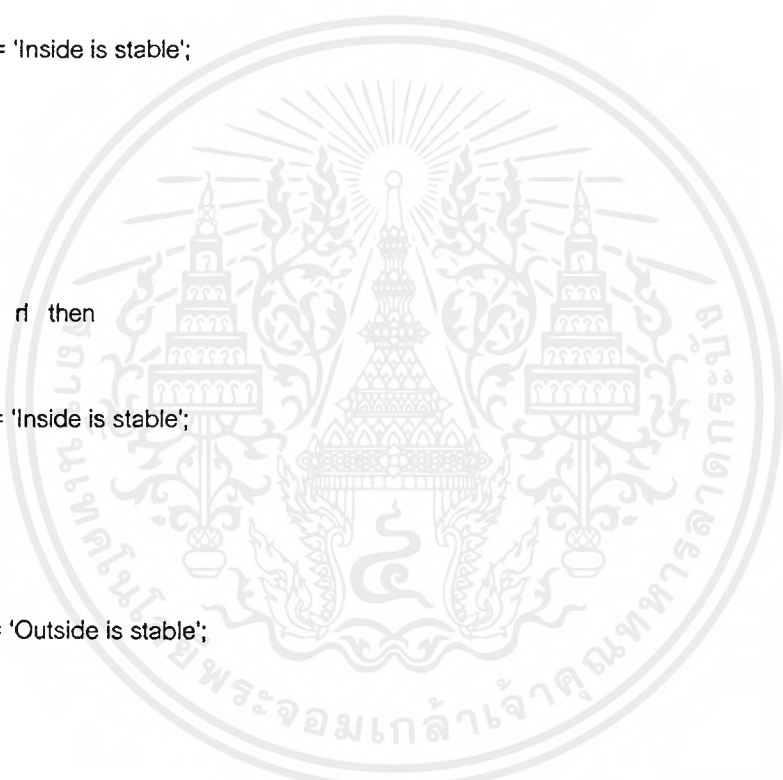
```



```

        str2 := 'Outside is stable';
    end;
end;
if abs3 < 1 then
begin
    if clm > rl then
    begin
        str3 := 'Outside is stable';
    end
    else
    begin
        str3 := 'Inside is stable';
    end;
    end
else
begin
    if clm > rl then
    begin
        str3 := 'Inside is stable';
    end
    else
    begin
        str3 := 'Outside is stable';
    end;
    end;
end;
// Show value
rs := round(rs*100000)/100000;
rl := round(rl*100000)/100000;
csm := round(csm*100000)/100000;
clm := round(clm*100000)/100000;
csa := round(csa*100000)/100000;
cla := round(cla*100000)/100000;
dm := round(dm*100000)/100000;
da := round(da*100000)/100000;
ak := round(ak*100000)/100000;

```



```

Stability.Label1.Caption := (str1);
Stability.Label2.Caption := 'Delta Mag = '+floattostr(dm);
Stability.Label3.Caption := 'Delta Ang = '+floattostr(da);
Stability.Label4.Caption := 'K = '+floattostr(ak);
Stability.Label6.Caption := 'Radius = '+floattostr(rs);
Stability.Label7.Caption := 'Center Mag = '+floattostr(csm);
Stability.Label8.Caption := 'Center Ang = '+floattostr(csa);
Stability.Label9.Caption := (str2);
Stability.Label11.Caption := 'Radius = '+floattostr(rl);
Stability.Label12.Caption := 'Center Mag = '+floattostr(clm);
Stability.Label13.Caption := 'Center Aag = '+floattostr(cia);
Stability.Label14.Caption := (str3);

```

```
// Plot Smithchart
```

```

Stability.Image1.Picture.LoadFromFile('Smithchart1.1.bmp');
xin := 260-(214*sine(csm,csa-90));
yin := 260-(215*cosine(csm,csa-90));
xout := 260-(214*sine(clm,cia-90));
yout := 260-(215*cosine(clm,cia-90));
xin1 := round(xin);
yin1 := round(yin);
xout1 := round(xout);
yout1 := round(yout);
rs := rs*214;
rl := rl*214;
ix1 := round(xin1-rs);
iy1 := round(yin1-rs);
ix2 := round(xin1+rs);
iy2 := round(yin1+rs);
ox1 := round(xout1-rl);
oy1 := round(yout1-rl);
ox2 := round(xout1+rl);
oy2 := round(yout1+rl);
with stability.Image1.Canvas do
begin
    stability.Image1.Canvas.Pen.Color := clFuchsia;

```

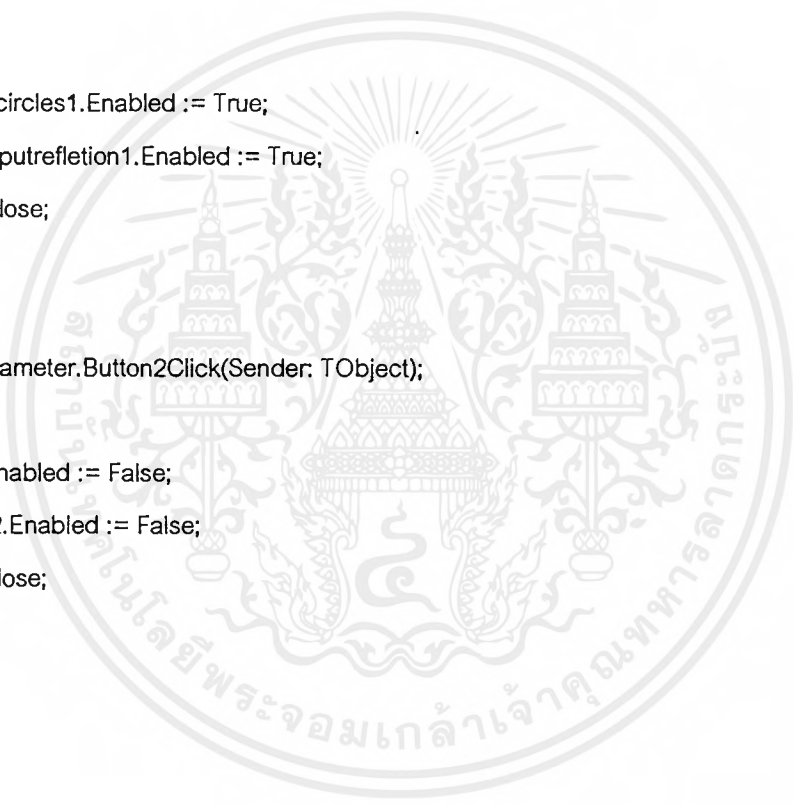
```

stability.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Polyline([point(260,260),Point(xin1,yin1)]);
arc(ix1,iy1,ix2,iy2,ix1,iy1,ix1,iy1);
end;
with stability.Image1.Canvas do
begin
stability.Image1.Canvas.Pen.Color := clMaroon;
stability.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Polyline([point(260,260),Point(xout1,yout1)]);
arc(ox1,oy1,ox2,oy2,ox1,oy1,ox1,oy1);
end;
// Other
Main.Stabilitycircles1.Enabled := True;
Main.Inputoutputrefletion1.Enabled := True;
Sparameter.Close;
end;

procedure TSpameter.Button2Click(Sender: TObject);
begin
Main.Save2.Enabled := False;
Main.SaveAs2.Enabled := False;
Sparameter.Close;
end;

end.

```



unit uu04;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
ExtCtrls, StdCtrls, Buttons, Math, Menus;

type

TStability = class(TForm)

Panel1: TPanel;

Image1: TImage;

Panel2: TPanel;

Panel3: TPanel;

Panel4: TPanel;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

BitBtn1: TBitBtn;

Label11: TLabel;

Label12: TLabel;

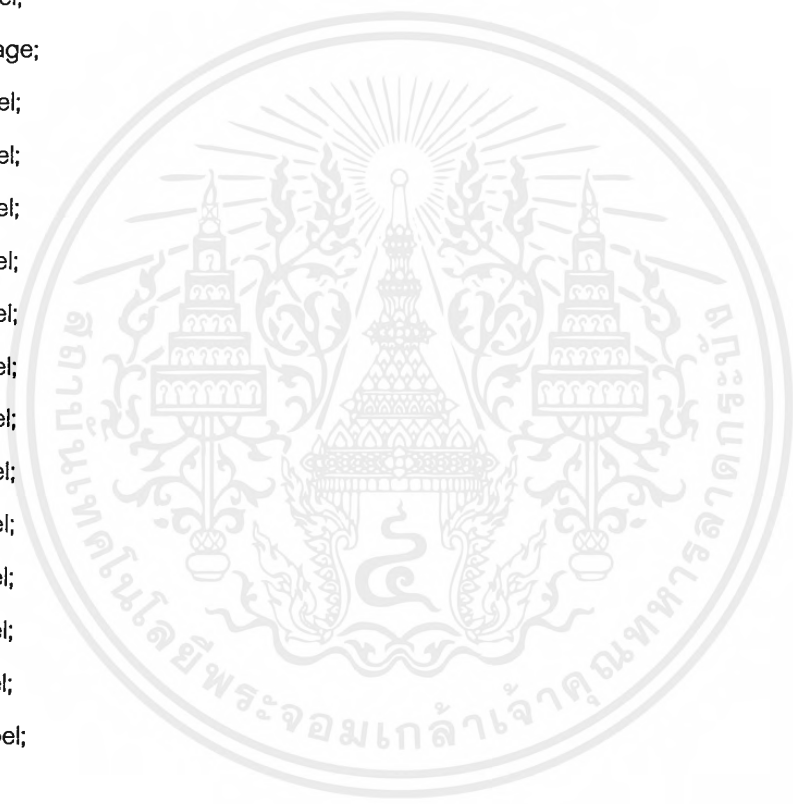
Label13: TLabel;

Label14: TLabel;

Label15: TLabel;

Label16: TLabel;

Label17: TLabel;



```

PopupMenu1: TPopupMenu;
SavePicture1: TMenuItem;
N1: TMenuItem;
Exit1: TMenuItem;
Label18: TLabel;
Label19: TLabel;
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure Exit1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Stability: TStability;
  mul1, mul2 : extended;

implementation

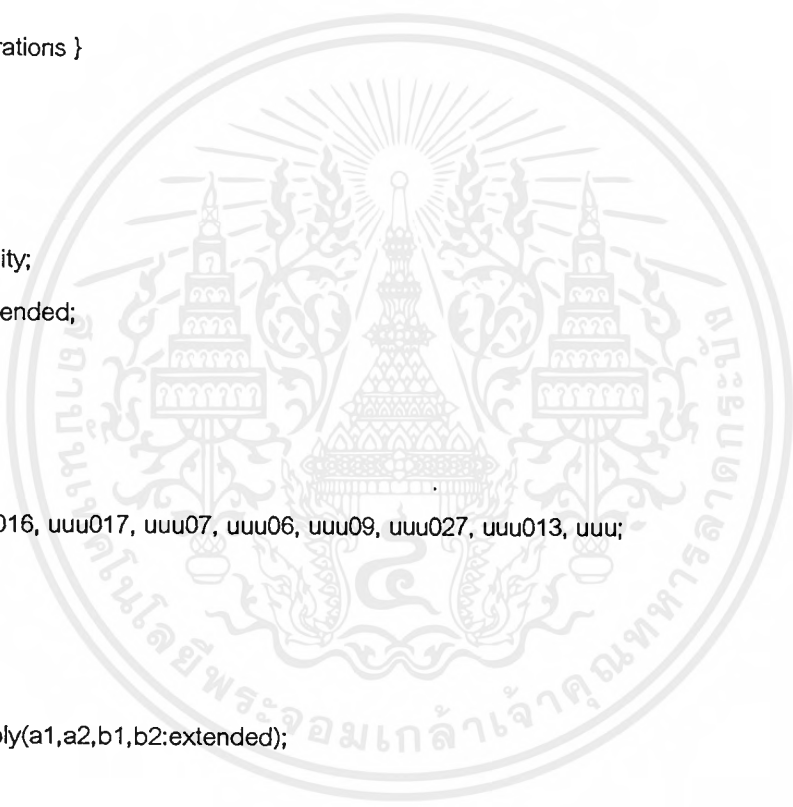
uses uuu03, uuu016, uuu017, uuu07, uuu06, uuu09, uuu027, uuu013, uuu;

{$R *.DFM}

procedure multiply(a1,a2,b1,b2:extended);
begin
  mul1 := (a1*b1)-(a2*b2);
  mul2 := (a1*b2)+(a2*b1);
end;

procedure TStability.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var re, im, abso1, abso2, z zr, z zi, re1, re2, gmagr, gmagi, gmag,
  gang : extended; // Converse Zt to GammaT
  tdtor, tgamr, tgami, tmulr1, tmuli1, tmulr2, tmuli2, tmulr3, tmuli3,
  tabso, backr, backi, ginmag, ginang, goutmag, goutang, sumr, sumi,

```



```

gloadmag, gloadang : extended; //GammaT to GammalN and GammaL
dtor, ZLr, ZLi, YLr, YLi : extended; //Converse GammaL to YL
Zinr, Zini, Yinr, Yini : extended; //Converse GammalN to Zin
real, imagin, num, rad, cenx1, ceny1, cenz1, are, zare1, zare2, ss,
tt : extended; // Calculate Zt wavelength
stubx, stuby, i, i1, j, j1, xx, xx1, rer, rer1, cenxx,
cenyy, cenzz, zetaa, aree, cenxx1, cenyy1, cenzz1, zetaa1, aree1, cenx,
ceny, cenz, zeta, zeta1, are1, ree1, imm1,
ree, imm, stub, line : extended; // Calculate stub and line wavelength
begin
// Other
if Main.MicrostripLine1.Enabled = True then
begin
Main.Oscilatercircuit1.Enabled := True;
end;
Stability.BitBtn1.Default := False;
// Recive
z zr := StrToFloat(Stability.Edit1.Text);
z zi := StrToFloat(Stability.Edit2.Text);
// Converse Zt to GammaT
re1 := zr-1;
re2 := zr+1;
abso2 := power(re2,2)+power(zi,2);
gmagr := ((re1*re2)+power(zi,2))/abso2;
gmagi := ((re2*zi)-(re1*zi))/abso2;
gmag := sqrt(power(gmagr,2)+power(gmagi,2));
gang := arctan2(gmagi,gmagr);
gang := gang*180/pi;
// Calculate From GammaT to GammalN and GammaL
// Calculate Ginmag, Ginang
tdtor := gang*pi/180;
tgamr := gmag*cos(tdtor);
tgami := gmag*sin(tdtor);
multiply(s12r,s12i,s21r,s21i);
tmulr1 := mul1;

```



```

tmuli1 := mul2;
multiply(tmuli1,tmuli1,tgamr,tgami);
tmulr2 := mul1;
tmuli2 := mul2;
multiply(s22r,s22i,tgamr,tgami);
tmulr3 := 1-mul1;
tmuli3 := (-1)*mul2;
tabso := power(tmulr3,2)+power(tmuli3,2);
backr := ((tmulr2*tmulr3)+(tmuli2*tmuli3))/tabso;
backi := ((tmuli2*tmulr3)-(tmulr2*tmuli3))/tabso;
backr := s11r+backr;
backi := s11i+backi;
ginmag := sqrt(power(backr,2)+power(backi,2));
ginang := arctan2(backi,backr);
ginang := ginang*180/pi;
// Calculate Gloadmag, Gloadang
tabso := power(backr,2)+power(backi,2);
sumr := backr/tabso;
sumi := (-1)*backi/tabso;
gloadmag := sqrt(power(sumr,2)+power(sumi,2));
gloadang := arctan2(sumi,sumr);
gloadang := gloadang*180/pi;
// Converse GammaL to ZL and YL
// Calculate z zr, z zi
dtor := gloadang*pi/180;
re := gloadmag*cos(dtor);
im := gloadmag*sin(dtor);
re1 := 1+re;
re2 := 1-re;
abso1 := power(re2,2)+power(im,2);
ZLr := ((re1*re2)-power(im,2))/abso1;
ZLi := ((re2*im)+(re1*im))/abso1;
// Calculate y r, y i
abso2 := power(ZLr,2)+power(ZLi,2);
YLr := ZLr/abso2;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

YLi := (-1)*ZLi/abso2;
// Converse GammalN to Zin and Yin
// Calculate zZr,zZi
dZor := ginang*pi/180;
re := ginmag*cos(dZor);
im := ginmag*sin(dZor);
re1 := 1+re;
re2 := 1-re;
abso1 := power(re2,2)+power(im,2);
Zinr := ((re1*re2)-power(im,2))/abso1;
Zini := ((re2*im)+(re1*im))/abso1;
// Calculate yYr,yYi
abso2 := power(Zinr,2)+power(Zini,2);
Yinr := Zinr/abso2;
Yini := (-1)*Zini/abso2;
// Calculate Zt wavelength
// Recive
real := zZr;
imagin := zZi;
if real < 0 then
begin
real := -1*real;
end;
// Calculate point re, im, ss, tt
re := (power(real,2)-1)+power(imagin,2);
re := re/(power(real+1,2)+power(imagin,2));
im := (2*imagin)/(power(real+1,2)+power(imagin,2));
re := 260+(re*214);
im := 260-(im*215);
if ((re = 260) and (im = 260)) then
begin
{ with Wavelengths.Image1.Canvas do
begin
Wavelengths.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Wavelengths.image1.Canvas.Pen.Color := clblack;

```



```

Wavelengths.image1.Canvas.Brush.Color:= cblack;
ellipse(259,259,261,261); // center point
end;
}
end
else
begin
if im < 260 then
begin
if re < 260 then
begin
ss := (260-re)+260;
tt := (260-im)+260;
end
else
begin
ss := -(260+re)+260;
tt := (260-im)+260;
end;
end
else
begin
if re < 260 then
begin
ss := (260-re)+260;
tt := -(260+im)+260;
end
else
begin
ss := -(re-260)+260;
tt := -(im-260)+260;
end;
end;
end;
// Calculate are1, are2
rad := sqrt(power(re-260,2)+power(im-260,2));

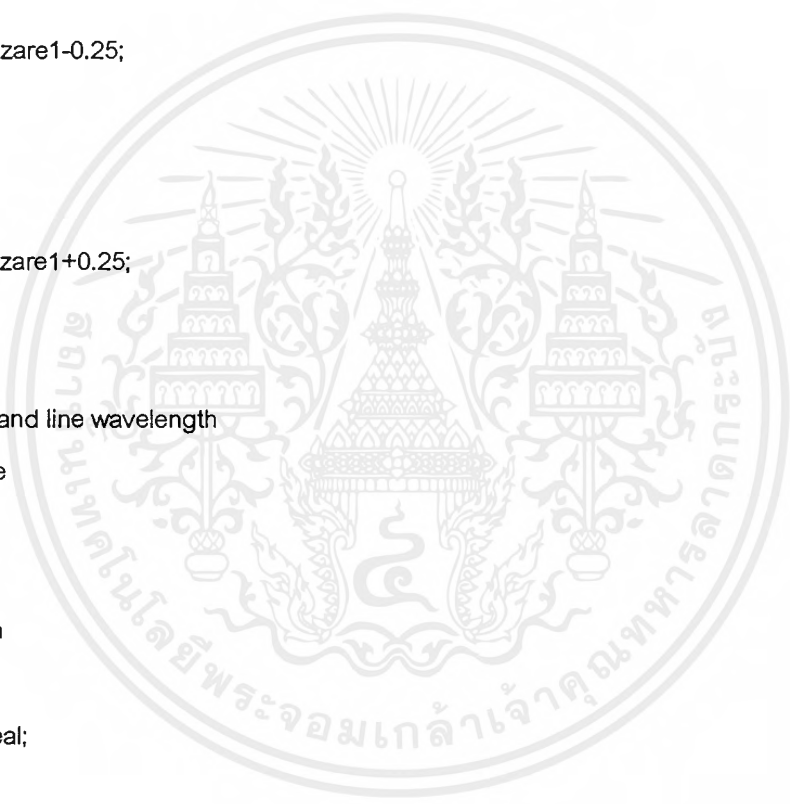
```



```

cenx1 := ((260-rad)+ss)/2;
ceny1 := (260+tt)/2;
cenz1 := sqrt(power(cenx1-(260-rad),2)+power(ceny1-260,2));
are := 2*arcsin(cenz1/rad);
zare1 := (are*0.5)/(2*pi);
if tt > 260 then
begin
zare1 := 0.5-zare1;
end;
if zare1 > 0.25 then
begin
zare2 := zare1-0.25;
end
else
begin
zare2 := zare1+0.25;
end;
end;
end;
// Calculate stub and line wavelength
// Recive value
real := YLr;
imagin := YLi;
if real < 0 then
begin
real := -1*real;
end;
// Calculate point re,im,rad,stubx,stuby,re3,im3
re := (power(real,2)-1)+power(imagin,2);
re := re/(power(real+1,2)+power(imagin,2));
im := (2*imagin)/(power(real+1,2)+power(imagin,2));
re := 260+(re*214);
im := 260-(im*215);
rad := sqrt(power(re-260,2)+power(im-260,2));
stubx := (power(rad,2)+55640)/214;
stuby := sqrt(abs(power(rad,2)-power(stubx-260,2)))+260;

```



```

if ((re = 260) and (im = 260)) then
  begin
  { with Immittancemat.Image1.canvas do
    begin
      Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
      Immittancemat.image1.canvas.Pen.Color := clMaroon;
      Immittancemat.image1.canvas.brush.color:= clMaroon;
      ellipse(259,259,261,261); // center point
    end;
  } end
else
  begin
  // Calculate are, are1, aree, aree1
  i := -(stubx-260)/214; //lown
  j := (stuby-260)/215;
  if (-2*j = 0) and (power(i+1,2)+power(j,2) = 0) then
    begin
      xx := 0;
    end
  else
    begin
      xx := -2*j/(power(i+1,2)+power(j,2));
    end;
  rer := (power(0,2)-1)+power(xx,2);
  re := rer/(power(0+1,2)+power(xx,2));
  imm := (2*xx)/(power(0+1,2)+power(xx,2));
  ree := 260+(ree*214);
  imm := 260-(imm*215);
  cenx := (re+stubx)/2;
  ceny := (im+stuby)/2;
  cenx := sqrt(power(cenx-re,2)+power(ceny-im,2));
  zeta := 2*arcsin(cenz/rad);
  are := (zeta*0.5)/(2*pi);
  cenxx := (474+ree)/2;
  cenyy := (260+imm)/2;

```



```

cenzz := sqrt(power(cenxx-474,2)+power(cenyy-260,2));
zetaa := 2*arcsin(cenzz/214);
aree := (zetaa*0.5)/(2*pi);

i1 := -(stubx-260)/214; //top
j1 := (260-(stuby-260)-260)/215;
if (-2*j1 = 0) and (power(i1+1,2)+power(j1,2) = 0) then
begin
xx1 := 0;
end
else
begin
xx1 := -2*j1/(power(i1+1,2)+power(j1,2));
end;
rer1 := (power(0,2)-1)+power(xx1,2);
ree1 := rer1/(power(0+1,2)+power(xx1,2));
imm1 := (2*xx1)/(power(0+1,2)+power(xx1,2));
ree1 := 260+(ree1*214);
imm1 := 260-(imm1*215);
cenx1 := (re+stubx)/2;
ceny1 := (im+260-(stuby-260))/2;
cenz1 := sqrt(power(cenx1-re,2)+power(ceny1-im,2));
zeta1 := 2*arcsin(cenz1/rad);
are1 := (zeta1*0.5)/(2*pi);
cenxx1 := (46+ree1)/2;
cenyy1 := (260+imm1)/2;
cenzz1 := sqrt(power(cenxx1-46,2)+power(cenyy1-260,2));
zetaa1 := 2*arcsin(cenzz1/214);
aree1 := (zetaa1*0.5)/(2*pi);
// Calculate are, are1
if re < (260-(stubx-260)) then //top
begin
are1 := 0.5-are1;
end
else

```

```

begin
  if im < (260-(stuby-260)) then
    begin
      are1 := 0.5-are1;
    end;
  end;
  if re > stubx then //lown
    begin
      are := 0.5-are;
    end
  else
    begin
      if im < (260-(stuby-260)) then
        begin
          are := 0.5-are;
        end;
      end;
    end;
  if are1 > are then
    begin
      line := are1;
      stub := aree1;
    end
  else
    begin
      line := are;
      stub := aree+0.25;
    end;
  // Show value
  gmag := round(gmag*100000)/100000;
  gang := round(gang*100000)/100000;
  ginmag := round(ginmag*100000)/100000;
  ginang := round(ginang*100000)/100000;
  gloadmag := round(gloadmag*100000)/100000;
  gloadang := round(gloadang*100000)/100000;

```



```

ZLr := round(ZLr*100000)/100000;
ZLi := round(ZLi*100000)/100000;
YLr := round(YLr*100000)/100000;
YLi := round(YLi*100000)/100000;
Zinr := round(Zinr*100000)/100000;
Zini := round(Zini*100000)/100000;
Yinr := round(Zinr*100000)/100000;
Yini := round(Zini*100000)/100000;
zare1 := round(zare1*100000)/100000;
line := round(line*100000)/100000;
stub := round(stub*100000)/100000;

```

```

ZandYtoG.Edit1.Text := Stability.Edit1.Text;
ZandYtoG.Edit2.Text := Stability.Edit2.Text;
GammaT.Edit1.Text := FloatToStr(gmag);
GammaT.Edit2.Text := FloatToStr(gang);
GtoZandY.Edit1.Text := FloatToStr(gloadmag);
GtoZandY.Edit2.Text := FloatToStr(gloadang);
Admittance.Edit1.Text := FloatToStr(YLr);
Admittance.Edit2.Text := FloatToStr(YLi);
Impedance.Edit1.Text := Stability.Edit1.Text;
Impedance.Edit2.Text := Stability.Edit2.Text;
Compare.Label2.Caption := 'Gmag = '+FloatToStr(ginmag);
Compare.Label3.Caption := 'Gang = '+FloatToStr(ginang);
Compare.Label5.Caption := 'Re = '+FloatToStr(Zinr);
Compare.Label6.Caption := 'Im = '+FloatToStr(Zini);
Oscillater.Edit3.Text := FloatToStr(zare1);
Oscillater.Edit1.Text := FloatToStr(line);
Oscillater.Edit2.Text := FloatToStr(stub);
// Close Form
Stability.WindowState := wsMinimized;
Compare.Show;
end;

end.

```

unit uuu05;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Math;

type

TGammaL = class(TForm)

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Button1: TButton;

Button2: TButton;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

procedure Button2Click(Sender: TObject);

procedure Button1Click(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

GammaL: TGammaL;

mul1, mul2 : extended;

implementation

uses uuu03, uuu021;

{ R *.DFM}

procedure multiply(a1,a2,b1,b2:extended);

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
    mul1 := (a1*b1)-(a2*b2);
    mul2 := (a1*b2)+(a2*b1);
end;

procedure TGammaL.Button1Click(Sender: TObject);
var sdtor, sgamr, sgami, smulr1, smuli1, smulr2, smuli2, smulr3, smuli3, sabso,
    backr, backi, ginmag, ginang, goutmag, goutang, sumr, sumi, gtermag, gterang :
extended;
begin
// Calculate Goutmag, Goutang
    sdtor := StrToFloat(GammaL.Edit2.Text)*pi/180;
    sgamr := StrToFloat(GammaL.Edit1.Text)*cos(sdtor);
    sgami := StrToFloat(GammaL.Edit1.Text)*sin(sdtor);
    multiply(s12r,s12i,s21r,s21i);
    smulr1 := mul1;
    smuli1 := mul2;
    multiply(smulr1,smuli1,sgamr,sgami);
    smulr2 := mul1;
    smuli2 := mul2;
    multiply(s11r,s11i,sgamr,sgami);
    smulr3 := 1-mul1;
    smuli3 := (-1)*mul2;
    sabso := power(smulr3,2)+power(smuli3,2);
    backr := ((smulr2*smulr3)+(smuli2*smuli3))/sabso;
    backi := ((smuli2*smulr3)-(smulr2*smuli3))/sabso;
    backr := s22r+backr;
    backi := s22i+backi;
    goutmag := sqrt(power(backr,2)+power(backi,2));
    goutang := arctan2(backi,backr);
    goutang := goutang*180/pi;
// Calculate Gloadmag, Gloadang
    sabso := power(backr,2)+power(backi,2);
    sumr := backr/sabso;
    sumi := (-1)*backi/sabso;

```

```

gtermag := sqrt(power(sumr,2)+power(sumi,2));
gterang := arctan2(sumi,sumr);
gterang := gterang*180/pi;
// Calculate Ginmag, Ginang
sabso := power(sgamr,2)+power(sgami,2);
sumr := sgamr/sabso;
sumi := (-1)*sgami/sabso;
ginmag := sqrt(power(sumr,2)+power(sumi,2));
ginang := arctan2(sumi,sumr);
ginang := ginang*180/pi;
// Show value
ginmag := round(ginmag*100000)/100000;
ginang := round(ginang*100000)/100000;
goutmag := round(goutmag*100000)/100000;
goutang := round(goutang*100000)/100000;
gtermag := round(gtermag*100000)/100000;
gterang := round(gterang*100000)/100000;
AnswergammaS.Label2.Caption := 'Gamma Mag = '+floattostr(ginmag);
AnswergammaS.Label3.Caption := 'Gamma Ang = '+floattostr(ginang);
AnswergammaS.Label5.Caption := 'Gamma Mag = '+floattostr(goutmag);
AnswergammaS.Label6.Caption := 'Gamma Ang = '+floattostr(goutang);
AnswergammaS.Label8.Caption := 'Gamma Mag = '+floattostr(gtermag);
AnswergammaS.Label9.Caption := 'Gamma Ang = '+floattostr(gterang);
// Other
AnswergammaS.Show;
GammaL.Close;
end;

procedure TGammaL.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    close;
end;

end.

```

```
unit uuu06;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Math;
```

```
type
```

```
TGammaT = class(TForm)
```

```
Edit1: TEdit;
```

```
Edit2: TEdit;
```

```
Button1: TButton;
```

```
Button2: TButton;
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
procedure Button2Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Button1Click(Sender: TObject);
```

```
private
```

```
{ Private declarations }
```

```
public
```

```
{ Public declarations }
```

```
end;
```

```
var
```

```
GammaT: TGammaT;
```

```
mul1, mul2 : extended;
```

```
implementation
```

```
uses uuu03, uuu022;
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
procedure multiply(a1,a2,b1,b2:extended);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
    mul1 := (a1*b1)-(a2*b2);
    mul2 := (a1*b2)+(a2*b1);
end;

procedure TGammaT.Button1Click(Sender: TObject);
var tdtor, tgamr, tgami, tmulr1, tmuli1, tmulr2, tmuli2, tmulr3, tmuli3, tabso,
    backr, backi, ginmag, ginang, goutmag, goutang, sumr, sumi, gloadmag, gloadang :
extended;
begin
// Calculate Ginmag, Ginang
    tdtor := StrToFloat(GammaT.Edit2.Text)*pi/180;
    tgamr := StrToFloat(GammaT.Edit1.Text)*cos(tdtor);
    tgami := StrToFloat(GammaT.Edit1.Text)*sin(tdtor);
    multiply(s12r,s12i,s21r,s21i);
    tmulr1 := mul1;
    tmuli1 := mul2;
    multiply(tmulr1,tmuli1,tgamr,tgami);
    tmulr2 := mul1;
    tmuli2 := mul2;
    multiply(s22r,s22i,tgamr,tgami);
    tmulr3 := 1-mul1;
    tmuli3 := (-1)*mul2;
    tabso := power(tmulr3,2)+power(tmuli3,2);
    backr := ((tmulr2*tmulr3)+(tmuli2*tmuli3))/tabso;
    backi := ((tmuli2*tmulr3)-(tmulr2*tmuli3))/tabso;
    backr := s11r+backr;
    backi := s11i+backi;
    ginmag := sqrt(power(backr,2)+power(backi,2));
    ginang := arctan2(backi,backr);
    ginang := ginang*180/pi;
// Calculate Gloadmag, Gloadang
    tabso := power(backr,2)+power(backi,2);
    sumr := backr/tabso;
    sumi := (-1)*backi/tabso;

```

```

gloadmag := sqrt(power(sumr,2)+power(sumi,2));
gloadang := arctan2(sumi,sumr);
gloadang := gloadang*180/pi;
// Calculate Goutmag, Goutang
tabso := power(tgamr,2)+power(tgami,2);
sumr := tgamr/tabso;
sumi := (-1)*tgami/tabso;
goutmag := sqrt(power(sumr,2)+power(sumi,2));
goutang := arctan2(sumi,sumr);
goutang := goutang*180/pi;
// Show value
ginmag := round(ginmag*100000)/100000;
ginang := round(ginang*100000)/100000;
goutmag := round(goutmag*100000)/100000;
goutang := round(goutang*100000)/100000;
gloadmag := round(gloadmag*100000)/100000;
gloadang := round(gloadang*100000)/100000;
AnswergammaT.Label2.Caption := 'Gamma Mag = '+floattostr(ginmag);
AnswergammaT.Label3.Caption := 'Gamma Ang = '+floattostr(ginang);
AnswergammaT.Label5.Caption := 'Gamma Mag = '+floattostr(goutmag);
AnswergammaT.Label6.Caption := 'Gamma Ang = '+floattostr(goutang);
AnswergammaT.Label8.Caption := 'Gamma Mag = '+floattostr(gloadmag);
AnswergammaT.Label9.Caption := 'Gamma Ang = '+floattostr(gloadang);
// Other
AnswergammaT.Show;
GammaT.Close;
end;

procedure TGammaT.Button2Click(Sender: TObject);
begin
close;
end;

end.

```

unit uuu07;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Math;

type

TZandYtoG = class(TForm)

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Button1: TButton;

Button2: TButton;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

ComboBox1: TComboBox;

Label3: TLabel;

procedure Button2Click(Sender: TObject);

procedure Button1Click(Sender: TObject);

procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

ZandYtoG: TZandYtoG;

implementation

uses uuu020;

{SR *.DFM}

```

procedure TZandYtoG.Button1Click(Sender: TObject);
var re, im, abso1, abso2, z zr, z zi, re1, re2, gmagr, gmagi, gmag, gang : extended;
begin
// Recive value
    re := StrToFloat(ZandYtoG.Edit1.Text);
    im := StrToFloat(ZandYtoG.Edit2.Text);
// Calculate Gmag, Gang
    if ZandYtoG.Caption = 'Admittance' then
        begin
            abso1 := power(re,2)+power(im,2);
            z zr := re/abso1;
            z zi := (-1)*im/abso1;
        end
    else
        begin
            z zr := re;
            z zi := im;
        end;
    re1 := z zr-1;
    re2 := z zr+1;
    abso2 := power(re2,2)+power(z zi,2);
    gmagr := ((re1*re2)+power(z zi,2))/abso2;
    gmagi := ((re2*z zi)-(re1*z zi))/abso2;
    gmag := sqrt(power(gmagr,2)+power(gmagi,2));
    gang := arctan2(gmagi,gmagr);
    gang := gang*180/pi;
// Show value
    gmag := round(gmag*100000)/100000;
    gang := round(gang*100000)/100000;
    AnswerZandYtoG.Label1.Caption := 'Gamma Mag = '+FloatToStr(gmag);
    AnswerZandYtoG.Label2.Caption := 'Gamma Ang = '+FloatToStr(gang);
// Other
    AnswerZandYtoG.Show;
    ZandYtoG.Close;

```



end;

```
procedure TZandYtoG.ComboBox1Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
  case ZandYtoG.combobox1.ItemIndex of
```

```
    0: begin
```

```
      ZandYtoG.Caption := 'Impedance';
```

```
      AnswerZandYtoG.Caption := 'Z to Gamma';
```

```
    end;
```

```
    1: begin
```

```
      ZandYtoG.Caption := 'Admittance';
```

```
      AnswerZandYtoG.Caption := 'Y to Gamma';
```

```
    end;
```

```
  end;
```

```
end;
```

```
procedure TZandYtoG.Button2Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
  close;
```

```
end;
```

```
end.
```



```
unit uu08;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, ExtCtrls;
```

```
type
```

```
TAnswerGtoZandY = class(TForm)
```

```
Panel1: TPanel;
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
Label3: TLabel;
```

```
Label4: TLabel;
```

```
Label5: TLabel;
```

```
Label6: TLabel;
```

```
Button1: TButton;
```

```
procedure Button1Click(Sender: TObject);
```

```
private
```

```
{ Private declarations }
```

```
public
```

```
{ Public declarations }
```

```
end;
```

```
var
```

```
AnswerGtoZandY: TAnswerGtoZandY;
```

```
implementation
```

```
{ $R *.DFM }
```

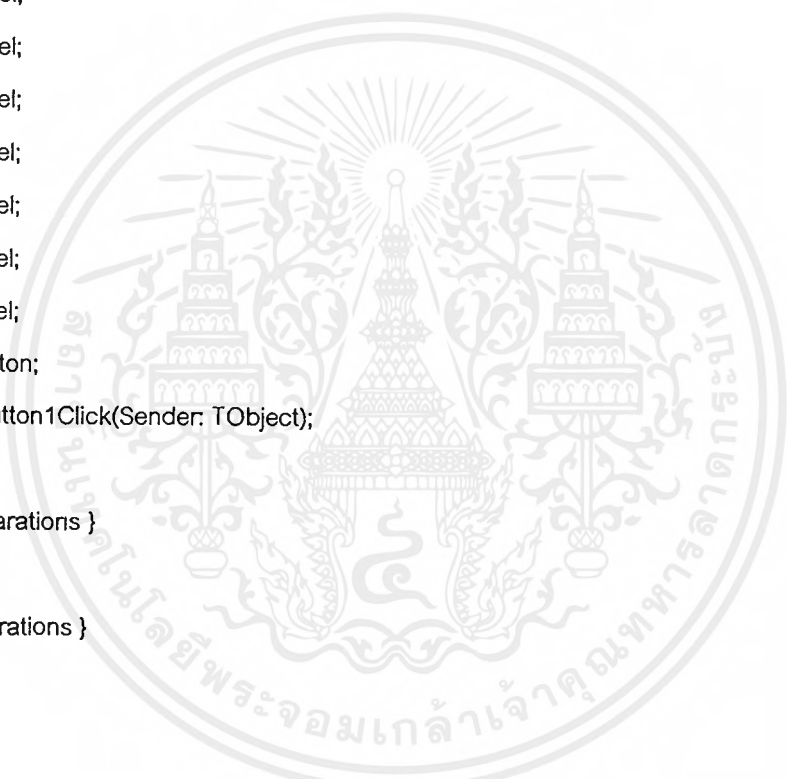
```
procedure TAnswerGtoZandY.Button1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
Close;
```

```
end;
```

```
end.
```



unit uuu09;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Math;

type

TGtoZandY = class(TForm)

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Button1: TButton;

Button2: TButton;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

procedure Button2Click(Sender: TObject);

procedure Button1Click(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

GtoZandY: TGtoZandY;

implementation

uses uuu08;

{\$R *.DFM}

procedure TGtoZandY.Button1Click(Sender: TObject);

var dtor, re, im, re1, re2, abso1, abso2, zzi, zzi, yyr, yyi : extended;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
// Calculate zxr,zzi
    dtor := StrToFloat(GtoZandY.Edit2.Text)*pi/180;
    re := StrToFloat(GtoZandY.Edit1.Text)*cos(dtor);
    im := StrToFloat(GtoZandY.Edit1.Text)*sin(dtor);
    re1 := 1+re;
    re2 := 1-re;
    abso1 := power(re2,2)+power(im,2);
    zxr := ((re1*re2)-power(im,2))/abso1;
    zzi := ((re2*im)+(re1*im))/abso1;
// Calculate yxr,yyi
    abso2 := power(zxr,2)+power(zzi,2);
    yxr := zxr/abso2;
    yyi := (-1)*zzi/abso2;
// Show value
    zxr := round(zxr*100000)/100000;
    zzi := round(zzi*100000)/100000;
    yxr := round(yxr*100000)/100000;
    yyi := round(yyi*100000)/100000;
    AnswerGtoZandY.Label2.Caption := 'Re = '+FloatToStr(zxr);
    AnswerGtoZandY.Label3.Caption := 'Im = '+FloatToStr(zzi);
    AnswerGtoZandY.Label5.Caption := 'Re = '+FloatToStr(yxr);
    AnswerGtoZandY.Label6.Caption := 'Im = '+FloatToStr(yyi);
// Other
    AnswerGtoZandY.SHow;
    GtoZandY.Close;
end;

procedure TGtoZandY.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    close;
end;

end.

```

unit uuu010;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, Math;

type

TLCmatching = class(TForm)

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Button1: TButton;

Button2: TButton;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

procedure Button2Click(Sender: TObject);

procedure Button1Click(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

LCmatching: TLCmatching;

implementation

uses uuu023, uuu024, uuu025, uuu026, uuu01;

{ \$R *.DFM }

procedure TLCmatching.Button2Click(Sender: TObject);

begin

```

Close;

end;

procedure TLCmatching.Button1Click(Sender: TObject);
var r, x, f, z, c, l, u1, u, v, uu, vw, i, i1, i2, j, j1, j2, xx, xx1, xx2, rr,
    rr1, rr2, ss, tt, ll, aa1, bb1, aa2, bb2 : extended;
    unitL, unitC : string;
begin
// Recive value
    r := StrToFloat(LCmatching.Edit1.Text);
    x := StrToFloat(LCmatching.Edit2.Text);
    f := StrToFloat(Substate.Edit4.Text);
    z := StrToFloat(Substate.Edit5.Text);
// Calculate feed & across point (uu, vw, ss, tt)
    u := (power(r,2)-1)+power(x,2);
    u := u/(power(r+1,2)+power(x,2));
    v := (2*x)/(power(r+1,2)+power(x,2));
    uu := 260+(u*214);
    vw := 260-(v*214);
    ss := 260-(u*214);
    tt := 260+(v*214);
// Cross unit circle point (aa1, bb1 and aa1, bb2)
    ll := sqrt(power(260-uu,2)+power(260-vv,2));
    aa1 := (55640-power(ll,2))/214;
    bb1 := sqrt(abs(power(ll,2)-power(aa1-260,2)))+260;
    aa2 := (55640+power(ll,2))/214;
    bb2 := sqrt(abs(power(ll,2)-power(aa2-260,2)))+260;
    if uu > 260 then
        begin
            if vw > 260 then
                begin
                    bb2:= bb1-2*(bb1-260);
                end
            else
                begin

```

```

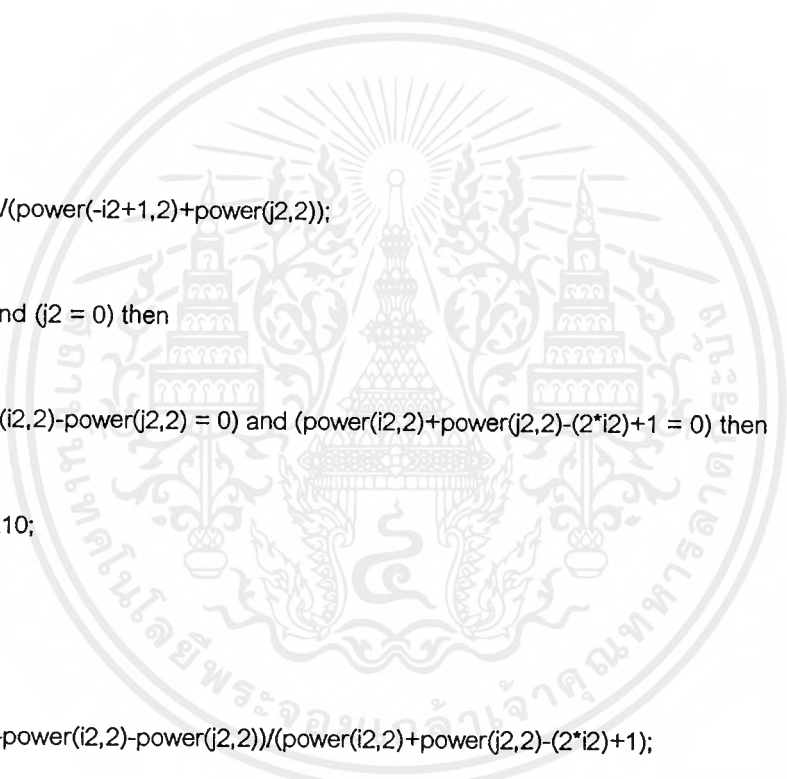
    bb1:= bb1-2*(bb1-260);
end;
end
else
begin
if w > 260 then
begin
bb1:= bb1-2*(bb1-260);
end
else
begin
bb2:= bb1-2*(bb1-260);
end;
end;
// Convert xy to smithchart ( low cross unit circle xx1, rr1)
i1 := (aa1-260)/214;
j1 := -(bb1-260)/214;
if (j1 = 0) and (power(-i1+1,2)+power(j1,2) = 0) then
begin
xx1 := 0;
end
else
begin
xx1 := 2*j1/(power(-i1+1,2)+power(j1,2));
end;
if (xx1 = 0) and (j1 = 0) then
begin
if (1-power(i1,2)-power(j1,2) = 0) and (power(i1,2)+power(j1,2)-(2*i1)+1 = 0) then
begin
rr1 := 1E10;
end
else
begin
rr1 := (1-power(i1,2)-power(j1,2))/(power(i1,2)+power(j1,2)-(2*i1)+1);
end;
end;

```

```

end
else
begin
  r1 := sqrt((2*xx1/j1)-power(xx1,2))-1;
end;
// Convert xy to smithchart ( top cross unit circle xx2, r2)
i2 := (aa2-260)/214;
j2 := -(bb2-260)/214;
if (j2 = 0) and (power(-i2+1,2)+power(j2,2) = 0) then
begin
  xx2 := 0;
end
else
begin
  xx2 := 2*j2/(power(-i2+1,2)+power(j2,2));
end;
if (xx2 = 0) and (j2 = 0) then
begin
  if (1-power(i2,2)-power(j2,2) = 0) and (power(i2,2)+power(j2,2)-(2*i2)+1 = 0) then
  begin
    r2 := 1E10;
  end
  else
  begin
    r2 := (1-power(i2,2)-power(j2,2))/(power(i2,2)+power(j2,2)-(2*i2)+1);
  end;
end
end
else
begin
  r2 := sqrt((2*xx2/j2)-power(xx2,2))-1;
end;
// Convert xy to smithchart (across point xx, r)
i := (ss-260)/214;
j := -(tt-260)/214;
if (j = 0) and (power(-i+1,2)+power(j,2) = 0) then

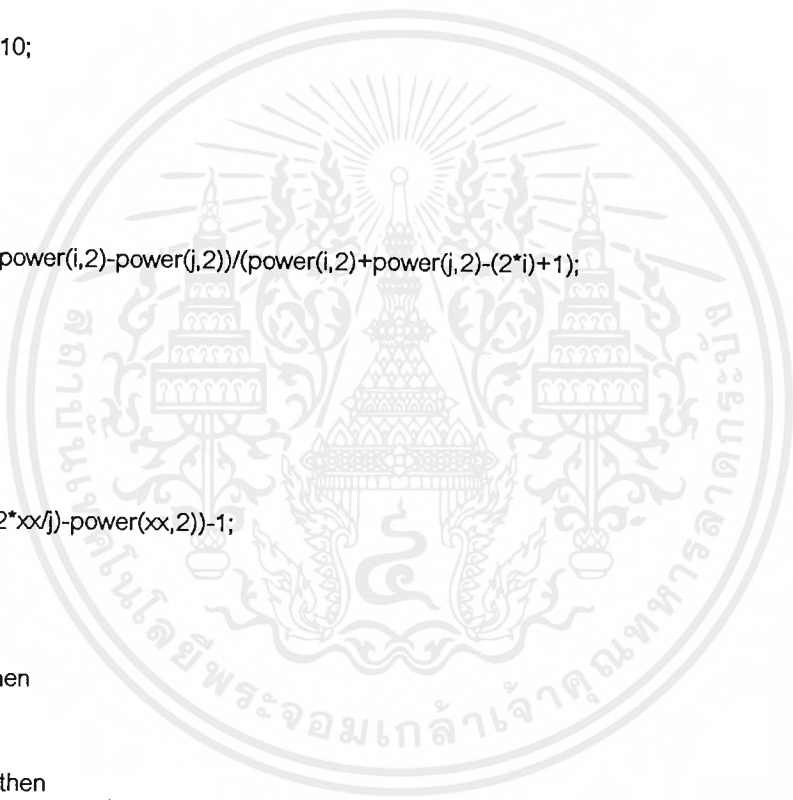
```



```

begin
  xx := 0;
end
else
begin
  xx := 2*j/(power(-i+1,2)+power(j,2));
end;
if (xx = 0) and (j = 0) then
begin
  if (1-power(i,2)-power(j,2) = 0) and (power(i,2)+power(j,2)-(2*i)+1 = 0) then
  begin
    rr := 1E10;
  end
  else
  begin
    rr := (1-power(i,2)-power(j,2))/(power(i,2)+power(j,2)-(2*i)+1);
  end;
end
else
begin
  rr := sqrt((2*xx/j)-power(xx,2))-1;
end;
// Calculate L, C
if uu > 260 then
begin
  if vv > 260 then
  begin
    l := -(z*(xx1-xx))/(2*pi*f);
    c := xx2/(2*pi*f*z);
  end
  else
  begin
    l := -z/(2*pi*f*xx2);
    c := 1/(2*pi*f*z*(xx1-xx));
  end;
end;

```



```

end
else
begin
if w > 260 then
begin
l:= z/(2*pi*f*(xx1-x));
c:= -1/(2*pi*f*z*xx2);
end
else
begin
l:= (z*xx2)/(2*pi*f);
c:= -(xx1-x)/(2*pi*f*z);
end;
end;
// Unit L
if l >= 100 then
begin
l := l/1000;
unitL := ' uH';
end;
if (l < 100) and (l >= 0.1) then
begin
unitL := ' nH';
end;
if (l < 0.1) and (l >= 0.0001) then
begin
l := l*1000;
unitL := ' pH';
end;
if l < 0.0001 then
begin
l := l*1000000;
unitL := ' fH';
end;
// Unit C

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if c >= 100 then
begin
  c := c/1000;
  unitC := ' uF';
end;
if (c < 100) and (c >= 0.1) then
begin
  unitC := ' nF';
end;
if (c < 0.1) and (c >= 0.0001) then
begin
  c := c*1000;
  unitC := ' pF';
end;
if c < 0.0001 then
begin
  c := c*1000000;
  unitC := ' fF';
end;
if uu > 260 then
begin
  if vv > 260 then
  begin
    Region3.Image1.Picture.LoadFromFile("Smith3.3.bmp");
    Region3.Show;
    // Show value
    Region3.label22.Left := round(uu)+24;
    Region3.Label22.Top := round(vv);
    Region3.label23.Left := round(ss)+24;
    Region3.Label23.Top := round(tt);
    Region3.label24.Left := round(aa2)+24;
    Region3.Label24.Top := round(bb2);
    Region3.label25.Left := round(aa1)+24;
    Region3.Label25.Top := round(bb1);
    Region3.label2.caption := 'L = '+floattostr(round(I*1000000)/1000000)+(unitL);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Region3.label3.caption := 'C = '+floattostr(round(c*1000000)/1000000)+(unitC);
Region3.label5.caption := 'r = '+floattostr(round(r*100000)/100000);
Region3.label6.caption := 'x = '+floattostr(round(xx*100000)/100000);
Region3.label8.caption := 'r = '+floattostr(round(r*100000)/100000);
Region3.label9.caption := 'x = '+floattostr(round(x*100000)/100000);
Region3.label11.caption := 'r = '+floattostr(round(rr1*100000)/100000);
Region3.label12.caption := 'x = '+floattostr(round(xx1*100000)/100000);
Region3.label14.caption := 'r = '+floattostr(round(rr2*100000)/100000);
Region3.label15.caption := 'x = '+floattostr(round(xx2*100000)/100000);
// Plot smithchart
with Region3.Image1.canvas do
begin
  Region3.Image1.Canvas.Pen.Width := 2;
  Region3.image1.Canvas.Pen.Color := clblack;
  Region3.image1.Canvas.Brush.Color:= clblack;
  ellipse(259,259,261,261); //center point
  ellipse(round(uu)-1,round(vv)-1,round(uu)+1,round(vv)+1); //feed point
  ellipse(round(ss)-1,round(tt)-1,round(ss)+1,round(tt)+1); //across point
  ellipse(round(aa1)-1,round(bb1)-1,round(aa1)+1,round(bb1)+1); //cross unit
circle lown
  ellipse(round(aa2)-1,round(bb2)-1,round(aa2)+1,round(bb2)+1); //cross unit
circle top
end;
with Region3.Image1.canvas do
begin
  Region3.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
  Region3.image1.Canvas.Pen.Color := clblue;
  Region3.image1.Canvas.Brush.Color:= clblue;
  polyline([point(round(uu),round(vv)),point(round(ss),round(tt))]); //feed point to
across point
  arc(260-round(ll),260-round(ll),260+round(ll),260+round(ll),
      260-round(ll),260-round(ll),260-round(ll),260-round(ll)); //arc circle
end;
end
else

```

```

begin
  Region1.Image1.Picture.LoadFromFile('Smith1.1.bmp');
  Region1.Show;
  // Show value
  Region1.label22.Left := round(uu)+24;
  Region1.Label22.Top := round(vv);
  Region1.label23.Left := round(ss)+24;
  Region1.Label23.Top := round(tt);
  Region1.label24.Left := round(aa2)+24;
  Region1.Label24.Top := round(bb2);
  Region1.label25.Left := round(aa1)+24;
  Region1.Label25.Top := round(bb1);
  Region1.label2.caption := 'L = '+floattostr(round(l*1000000)/1000000)+(unitL);
  Region1.label3.caption := 'C = '+floattostr(round(c*1000000)/1000000)+(unitC);
  Region1.label5.caption := 'r = '+floattostr(round(rr*100000)/100000);
  Region1.label6.caption := 'x = '+floattostr(round(xx*100000)/100000);
  Region1.label8.caption := 'r = '+floattostr(round(r*100000)/100000);
  Region1.label9.caption := 'x = '+floattostr(round(x*100000)/100000);
  Region1.label11.caption := 'r = '+floattostr(round(rr1*100000)/100000);
  Region1.label12.caption := 'x = '+floattostr(round(xx1*100000)/100000);
  Region1.label14.caption := 'r = '+floattostr(round(rr2*100000)/100000);
  Region1.label15.caption := 'x = '+floattostr(round(xx2*100000)/100000);
  // Plot smithchart
  with Region1.Image1.canvas do
    begin
      Region1.Image1.Canvas.Pen.Width := 2;
      Region1.image1.Canvas.Pen.Color := clblack;
      Region1.image1.Canvas.Brush.Color:= clblack;
      ellipse(259,259,261,261); //center point
      ellipse(round(uu)-1,round(vv)-1,round(uu)+1,round(vv)+1); //feed point
      ellipse(round(ss)-1,round(tt)-1,round(ss)+1,round(tt)+1); //across point
      ellipse(round(aa1)-1,round(bb1)-1,round(aa1)+1,round(bb1)+1); //cross unit
    end
  end
  circle lown
  ellipse(round(aa2)-1,round(bb2)-1,round(aa2)+1,round(bb2)+1); //cross unit
  circle top

```

```

end;
with Region1.Image1.canvas do
begin
Region1.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Region1.image1.Canvas.Pen.Color := clblue;
Region1.image1.Canvas.Brush.Color:= clblue;
polyline([point(round(uu),round(vv)),point(round(ss),round(tt))]); //feed point to
across point
arc(260-round(ll),260-round(ll),260+round(ll),260+round(ll),
260-round(ll),260-round(ll),260-round(ll),260-round(ll)); //arc circle
end;
end;
end
else
begin
if w > 260 then
begin
Region2.Image1.Picture.LoadFromFile('Smith2.2.bmp');
Region2.Show;
// Show value
Region2.label22.Left := round(uu)+30;
Region2.Label22.Top := round(vv);
Region2.label23.Left := round(ss)+30;
Region2.Label23.Top := round(tt);
Region2.label24.Left := round(aa1)+30;
Region2.Label24.Top := round(bb1);
Region2.label25.Left := round(aa2)+30;
Region2.Label25.Top := round(bb2);
Region2.label2.caption := 'L = '+floattostr(round(l*1000000)/1000000)+(unitL);
Region2.label3.caption := 'C = '+floattostr(round(c*1000000)/1000000)+(unitC);
Region2.label5.caption := 'r = '+floattostr(round(r*100000)/100000);
Region2.label6.caption := 'x = '+floattostr(round(xx*100000)/100000);
Region2.label8.caption := 'r = '+floattostr(round(r*100000)/100000);
Region2.label9.caption := 'x = '+floattostr(round(x*100000)/100000);
Region2.label11.caption := 'r = '+floattostr(round(r2*100000)/100000);

```

```

Region2.label12.caption := 'x = '+floattostr(round(xx2*100000)/100000);
Region2.label14.caption := 'r = '+floattostr(round(r1*100000)/100000);
Region2.label15.caption := 'x = '+floattostr(round(xx1*100000)/100000);
// Plot smithchart
with Region2.Image1.canvas do
begin
    Region2.Image1.Canvas.Pen.Width := 2;
    Region2.image1.Canvas.Pen.Color := clblack;
    Region2.image1.Canvas.Brush.Color:= clblack;
    ellipse(259,259,261,261); //center point
    ellipse(round(uu)-1,round(vv)-1,round(uu)+1,round(vv)+1); //feed point
    ellipse(round(ss)-1,round(tt)-1,round(ss)+1,round(tt)+1); //across point
    ellipse(round(aa1)-1,round(bb1)-1,round(aa1)+1,round(bb1)+1); //cross unit
circle lown
    ellipse(round(aa2)-1,round(bb2)-1,round(aa2)+1,round(bb2)+1); //cross unit
circle top
end;
with Region2.Image1.canvas do
begin
    Region2.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
    Region2.image1.Canvas.Pen.Color := clblue;
    Region2.image1.Canvas.Brush.Color:= clblue;
    polyline([point(round(uu),round(vv)),point(round(ss),round(tt))]); //feed point to
across point
    arc(260-round(ll),260-round(ll),260+round(ll),260+round(ll),
        260-round(ll),260-round(ll),260-round(ll),260-round(ll)); //arc circle
end;
end
else
begin
    Region4.Image1.Picture.LoadFromFile('Smith4.4.bmp');
    Region4.Show;
// Show value
    Region4.label22.Left := round(uu)+24;
    Region4.Label22.Top := round(vv);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Region4.label23.Left := round(ss)+24;
Region4.Label23.Top := round(tt);
Region4.label24.Left := round(aa1)+24;
Region4.Label24.Top := round(bb1);
Region4.label25.Left := round(aa2)+24;
Region4.Label25.Top := round(bb2);
Region4.label2.caption := 'L = '+floattostr(round(l*1000000)/1000000)+(unitL);
Region4.label3.caption := 'C = '+floattostr(round(c*1000000)/1000000)+(unitC);
Region4.label5.caption := 'r = '+floattostr(round(rr*100000)/100000);
Region4.label6.caption := 'x = '+floattostr(round(xx*100000)/100000);
Region4.label8.caption := 'r = '+floattostr(round(r*100000)/100000);
Region4.label9.caption := 'x = '+floattostr(round(x*100000)/100000);
Region4.label11.caption := 'r = '+floattostr(round(rr2*100000)/100000);
Region4.label12.caption := 'x = '+floattostr(round(xx2*100000)/100000);
Region4.label14.caption := 'r = '+floattostr(round(rr1*100000)/100000);
Region4.label15.caption := 'x = '+floattostr(round(xx1*100000)/100000);
// Plot smithchart
with Region4.Image1.canvas do
begin
Region4.Image1.Canvas.Pen.Width := 2;
Region4.image1.Canvas.Pen.Color := clblack;
Region4.image1.Canvas.Brush.Color:= clblack;
ellipse(259,259,261,261); //center point
ellipse(round(uu)-1,round(vv)-1,round(uu)+1,round(vv)+1); //feed point
ellipse(round(ss)-1,round(tt)-1,round(ss)+1,round(tt)+1); //across point
ellipse(round(aa1)-1,round(bb1)-1,round(aa1)+1,round(bb1)+1); //cross unit
circle lown
ellipse(round(aa2)-1,round(bb2)-1,round(aa2)+1,round(bb2)+1); //cross unit
circle top
end;
with Region4.Image1.canvas do
begin
Region4.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Region4.image1.Canvas.Pen.Color := clblue;
Region4.image1.Canvas.Brush.Color:= clblue;

```

```
polyline([point(round(uu),round(vv)),point(round(ss),round(tt))]); //feed point to
across point
arc(260-round(lI),260-round(lI),260+round(lI),260+round(lI),
260-round(lI),260-round(lI),260-round(lI),260-round(lI)); //arc circle
end;
end;
end;
// Close Form
LCmatching.Close;
end;
end.
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

unit uuu011;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
ExtCtrls, StdCtrls, Buttons, Menus;

type

TImmittancemat = class(TForm)

Panel1: TPanel;

Image1: TImage;

Panel2: TPanel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

CheckBox1: TCheckBox;

CheckBox2: TCheckBox;

CheckBox3: TCheckBox;

CheckBox4: TCheckBox;

BitBtn1: TBitBtn;

Label1: TLabel;

Label8: TLabel;

RadioButton1: TRadioButton;

RadioButton2: TRadioButton;

Label4: TLabel;

PopupMenu1: TPopupMenu;

SavePicture1: TMenuItem;

N1: TMenuItem;

Exit1: TMenuItem;

Panel3: TPanel;

Label11: TLabel;

Label14: TLabel;

Label10: TLabel;



```

Label9: TLabel;
Label13: TLabel;
Label12: TLabel;
Label5: TLabel;
procedure CheckBox1Click(Sender: TObject);
procedure CheckBox2Click(Sender: TObject);
procedure CheckBox3Click(Sender: TObject);
procedure CheckBox4Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure RadioButton1Click(Sender: TObject);
procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);
procedure Exit1Click(Sender: TObject);
// procedure FormActivate(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Immittancemat: TImmittancemat;

implementation

uses uuu, uuu013, uuu016;

{$R *.DFM}

procedure TImmittancemat.CheckBox1Click(Sender: TObject);
begin
  if Immittancemat.CheckBox1.Checked = True then
    begin
      Immittancemat.CheckBox2.Checked := False;
    end;
end;
end;

```



```

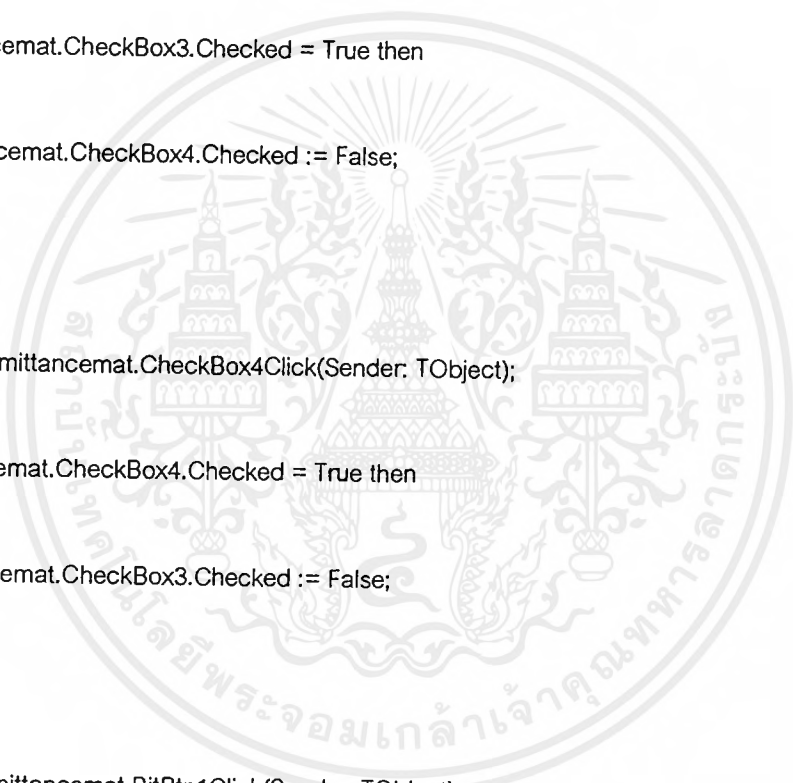
procedure TImmittancemat.CheckBox2Click(Sender: TObject);
begin
    if Immittancemat.CheckBox2.Checked = True then
        begin
            Immittancemat.CheckBox1.Checked := False;
        end;
end;

procedure TImmittancemat.CheckBox3Click(Sender: TObject);
begin
    if Immittancemat.CheckBox3.Checked = True then
        begin
            Immittancemat.CheckBox4.Checked := False;
        end;
end;

procedure TImmittancemat.CheckBox4Click(Sender: TObject);
begin
    if Immittancemat.CheckBox4.Checked = True then
        begin
            Immittancemat.CheckBox3.Checked := False;
        end;
end;

procedure TImmittancemat.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
    Immittancemat.WindowState := wsMinimized;
    if Immittancemat.RadioButton1.Font.Color = clblue then
        begin
            Oscillater.Edit1.Text := Immittancemat.label2.Caption;
            if Immittancemat.CheckBox1.Checked = True then
                begin
                    Oscillater.Edit2.Text := Immittancemat.label3.Caption;
                end;
        end;
end;

```



```

if Immittancemat.CheckBox2.Checked = True then
    begin
        Oscillater.Edit2.Text := Immittancemat.label4.Caption;
    end;
end
else
    begin
        Oscillater.Edit1.Text := Immittancemat.label5.Caption;
        if Immittancemat.CheckBox3.Checked = True then
            begin
                Oscillater.Edit2.Text := Immittancemat.label6.Caption;
            end;
        if Immittancemat.CheckBox4.Checked = True then
            begin
                Oscillater.Edit2.Text := Immittancemat.label7.Caption;
            end;
        end;
    end;
end;

procedure TImmittancemat.RadioButton1Click(Sender: TObject);
begin
// Other
    Immittancemat.RadioButton1.Font.Color := clblue;
    Immittancemat.RadioButton2.Font.Color := clblack;
    Immittancemat.Image1.Picture.LoadFromFile('Smithchart1.1.bmp');
    Immittancemat.Label5.Enabled := False;
    Immittancemat.Label6.Enabled := False;
    Immittancemat.Label7.Enabled := False;
    Immittancemat.Label8.Enabled := False;
    Immittancemat.CheckBox3.Enabled := False;
    Immittancemat.CheckBox4.Enabled := False;
    Immittancemat.Label1.Enabled := True;
    Immittancemat.Label2.Enabled := True;
    Immittancemat.Label3.Enabled := True;
    Immittancemat.Label4.Enabled := True;

```

```

    Immittancemat.CheckBox1.Enabled := True;
    Immittancemat.CheckBox2.Enabled := True;
// Plot Smithchart
    if ((re = 260) and (im = 260)) then
        begin
            with Immittancemat.Image1.canvas do
                begin
                    Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
                    Immittancemat.image1.canvas.Pen.Color := clMaroon;
                    Immittancemat.image1.canvas.brush.color:= clMaroon;
                    ellipse(259,259,261,261); // center point
                end;
                Immittancemat.label2.caption := 'NO value';
                Immittancemat.label3.caption := 'NO value';
                Immittancemat.label4.caption := 'NO value';
                Immittancemat.label5.caption := 'NO value';
                Immittancemat.label6.caption := 'NO value';
                Immittancemat.label7.caption := 'NO value';
            end
        else
            begin
// Plot Smithchart
            with Immittancemat.Image1.canvas do
                begin
                    Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
                    Immittancemat.image1.Canvas.Pen.Color := clMaroon;
                    Immittancemat.image1.Canvas.Brush.Color:= clMaroon;
                    ellipse(259,259,261,261); // center point
                    ellipse(re1-1,im1-1,re1+1,im1+1); // feed point
                    ellipse(stubx1-1,260-(stuby1-260)-1,stubx1+1,260-(stuby1-260)+1); // cross unit
                curcle point
                    polyline([point(260,260),point(round(re3),round(im3))]); // radii feed
                    polyline([point(260,260),point(260+(stubx1-260)*num,260+(260-(stuby1-260)-
                260)*num)]); // radii cross unit curcle

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    arc(260-round(rad),260-
round(rad),260+round(rad),260+round(rad),re1,im1,stubx1,260-(stuby1-260)); // arc
circle
    end;
// 'open stub'
with Immittancemat.Image1.canvas do
    begin
        Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
        Immittancemat.image1.Canvas.Pen.Color := clFuchsia;
        Immittancemat.image1.Canvas.Brush.color:= clFuchsia;
        polyline([point(260,260),point(46-4,260)]);
        polyline([point(260,260),point(round(ree1),round(imm1))]);
        arc(46-4,45-4,475+4,475+4,round(ree1),round(imm1),46,260);
    end;
// 'short stub'
with Immittancemat.Image1.canvas do
    begin
        Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
        Immittancemat.image1.canvas.Pen.Color := clblue;
        Immittancemat.image1.canvas.brush.color:= clblue;
        polyline([point(260,260),point(475+7,260)]);
        polyline([point(260,260),point(round(ree1),round(imm1))]);
        arc(46-7,45-7,475+7,475+7,round(ree1),round(imm1),475,260);
    end;
end;

procedure TImmittancemat.RadioButton2Click(Sender: TObject);
begin
// Other
    Immittancemat.RadioButton1.Font.Color := clblack;
    Immittancemat.RadioButton2.Font.Color := clblue;
    Immittancemat.Image1.Picture.LoadFromFile('Smithchart1.1.bmp');
    Immittancemat.Label1.Enabled := False;
    Immittancemat.Label2.Enabled := False;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Immittancemat.Label3.Enabled := False;
Immittancemat.Label4.Enabled := False;
Immittancemat.CheckBox1.Enabled := False;
Immittancemat.CheckBox2.Enabled := False;
Immittancemat.Label5.Enabled := True;
Immittancemat.Label6.Enabled := True;
Immittancemat.Label7.Enabled := True;
Immittancemat.Label8.Enabled := True;
Immittancemat.CheckBox3.Enabled := True;
Immittancemat.CheckBox4.Enabled := True;
```

```
// Plot Smithchart
```

```
if ((re = 260) and (im = 260)) then
```

```
begin
```

```
with Immittancemat.Image1.canvas do
```

```
begin
```

```
Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
```

```
Immittancemat.image1.canvas.Pen.Color := clMaroon;
```

```
Immittancemat.image1.canvas.brush.color:= clMaroon;
```

```
ellipse(259,259,261,261); // center point
```

```
end;
```

```
Immittancemat.label2.caption := 'NO value';
```

```
Immittancemat.label3.caption := 'NO value';
```

```
Immittancemat.label4.caption := 'NO value';
```

```
Immittancemat.label5.caption := 'NO value';
```

```
Immittancemat.label6.caption := 'NO value';
```

```
Immittancemat.label7.caption := 'NO value';
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
// Plot Smithchart
```

```
with Immittancemat.Image1.canvas do
```

```
begin
```

```
Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
```

```
Immittancemat.Canvas.Pen.Color := clMaroon;
```

```
Immittancemat.Canvas.Brush.Color:= clMaroon;
```

```

ellipse(259,259,261,261); // center point
ellipse(re1-1,im1-1,re1+1,im1+1); // feed point
ellipse(stubx1-1,stuby1-1,stubx1+1,stuby1+1); // cross unit curcle point
polyline([point(260,260),point(round(re3),round(im3))]); // radii feed
polyline([point(260,260),point(260+(stubx1-260)*num,260+(stuby1-260)*num)]); //
radii cross unit curcle
arc(260-round(rad),260-
round(rad),260+round(rad),260+round(rad),re1,im1,stubx1,stuby1); // arc circle
end;
// 'open stub'
with Immittancemat.Image1.canvas do
begin
Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Immittancemat.image1.canvas.Pen.Color := clFuchsia;
Immittancemat.image1.canvas.brush.color:= clFuchsia;
polyline([point(260,260),point(46-4,260)]);
polyline([point(260,260),point(round(ree),round(imm))]);
arc(46-4,45-4,475+4,475+4,round(ree),round(imm),46,260);
end;
// 'short stub'
with Immittancemat.Image1.canvas do
begin
Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Color := clblue;
Immittancemat.image1.Canvas.Brush.Color:= clblue;
polyline([point(260,260),point(475+7,260)]);
polyline([point(260,260),point(round(ree),round(imm))]);
arc(46-7,45-7,475+7,475+7,round(ree),round(imm),475,260);
end;
end;

procedure TImmittancemat.Exit1Click(Sender: TObject);
begin
Immittancemat.Close;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ellipse(259,259,261,261); // center point
ellipse(re1-1,im1-1,re1+1,im1+1); // feed point
ellipse(stubx1-1,stuby1-1,stubx1+1,stuby1+1); // cross unit curcle point
polyline([point(260,260),point(round(re3),round(im3))]); // radii feed
polyline([point(260,260),point(260+(stubx1-260)*num,260+(stuby1-260)*num)]); //
radii cross unit curcle
    arc(260-round(rad),260-
round(rad),260+round(rad),260+round(rad),re1,im1,stubx1,stuby1); // arc circle
end;
// 'open stub'
with Immittancemat.Image1.canvas do
begin
    Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
    Immittancemat.image1.canvas.Pen.Color := clFuchsia;
    Immittancemat.image1.canvas.brush.color:= clFuchsia;
    polyline([point(260,260),point(46-4,260)]);
    polyline([point(260,260),point(round(ree),round(imm))]);
    arc(46-4,45-4,475+4,475+4,round(ree),round(imm),46,260);
end;
// 'short stub'
with Immittancemat.Image1.canvas do
begin
    Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
    Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Color := clblue;
    Immittancemat.image1.Canvas.Brush.Color:= clblue;
    polyline([point(260,260),point(475+7,260)]);
    polyline([point(260,260),point(round(ree),round(imm))]);
    arc(46-7,45-7,475+7,475+7,round(ree),round(imm),475,260);
end;
end;
procedure TImmittancemat.Exit1Click(Sender: TObject);
begin
    Immittancemat.Close;
end;
end.

```

unit uuu012;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
ExtCtrls, StdCtrls, Buttons, Menus;

type

TWavelengths = class(TForm)

Panel1: TPanel;

Image1: TImage;

Panel2: TPanel;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

BitBtn1: TBitBtn;

CheckBox1: TCheckBox;

CheckBox2: TCheckBox;

Panel3: TPanel;

Label4: TLabel;

Label9: TLabel;

Label8: TLabel;

Label5: TLabel;

Label3: TLabel;

PopupMenu1: TPopupMenu;

SavePicture1: TMenuItem;

N1: TMenuItem;

Exit1: TMenuItem;

procedure CheckBox1Click(Sender: TObject);

procedure CheckBox2Click(Sender: TObject);

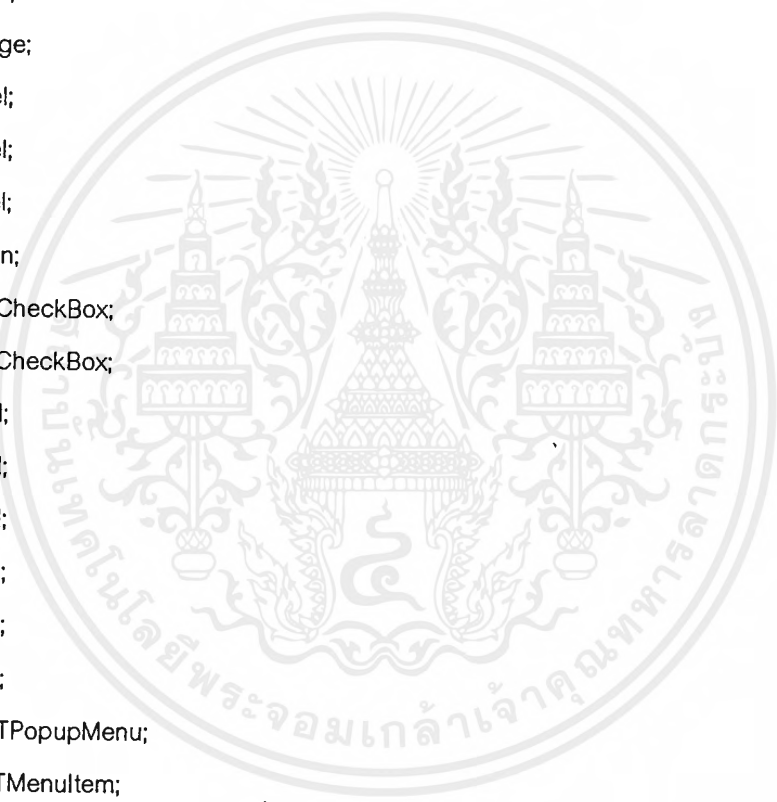
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);

procedure Exit1Click(Sender: TObject);

// procedure FormActivate(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }



```

public
  { Public declarations }
end;

var
  Wavelengths: TWavelengths;

implementation
  uses uu, uu013, uu017;

  {$R *.DFM}

  procedure TWavelengths.CheckBox1Click(Sender: TObject);
  begin
    // Other
    if Wavelengths.CheckBox1.Checked = True then
      begin
        Wavelengths.CheckBox2.Checked := False;
        end;
        Wavelengths.Image1.Picture.LoadFromFile('Smithchart1.1.bmp');
    // Plot Smithchart
    if ((re = 260) and (im = 260)) then
      begin
        with Wavelengths.Image1.Canvas do
          begin
            Wavelengths.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
            Wavelengths.image1.Canvas.Pen.Color := clblack;
            Wavelengths.image1.Canvas.Brush.Color:= clblack;
            ellipse(259,259,261,261); // center point
          end;
          Wavelengths.Label1.Caption := 'No value';
          Wavelengths.Label2.Caption := 'No value';
        end
      else
        begin

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Plot Smithchart
with Wavelengths.Image1.canvas do
begin
Wavelengths.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Wavelengths.image1.Canvas.Pen.Color := clblack;
Wavelengths.image1.Canvas.Brush.Color:= clblack;
ellipse(259,259,261,261); // center point
ellipse(tre-1,tim-1,tre+1,tim+1); // feed point
ellipse(tss-1,ttt-1,tss+1,ttt+1); //across point
polyline([point(260,260),point(tre3,tim3)]); //radii feed
polyline([point(260,260),point(tss1,ttt1)]); //radii across
end;
// Plot Smithchart'Open stub'
with Wavelengths.Image1.canvas do
begin
Wavelengths.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Wavelengths.image1.Canvas.Pen.Color := clblue;
Wavelengths.image1.Canvas.Brush.Color:= clblue;
polyline([point(46-4,260),point(260,260)]); //radii open stub
arc(46-4,45-4,475+4,475+4,tss1,ttt1,46,260); //arc circle
end;
end;

procedure TWavelengths.CheckBox2Click(Sender: TObject);
begin
// Other
if Wavelengths.CheckBox2.Checked = True then
begin
Wavelengths.CheckBox1.Checked := False;
end;
Wavelengths.Image1.Picture.LoadFromFile('Smithchart1.1.bmp');
// Plot Smithchart
if ((re = 260) and (im = 260)) then
begin

```

```

with Wavelengths.Image1.canvas do
begin
    Wavelengths.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
    Wavelengths.image1.Canvas.Pen.Color := clblack;
    Wavelengths.image1.Canvas.Brush.Color:= clblack;
    ellipse(259,259,261,261); // center point
end;

Wavelengths.Label1.Caption := 'No value';
Wavelengths.Label2.Caption := 'No value';

end

else
begin
// Plot Smithchart
with Wavelengths.Image1.canvas do
begin
    Wavelengths.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
    Wavelengths.image1.Canvas.Pen.Color := clblack;
    Wavelengths.image1.Canvas.Brush.Color:= clblack;
    ellipse(259,259,261,261); // center point
    ellipse(tre-1,tim-1,tre+1,tim+1); // feed point
    ellipse(tss-1,ttt-1,tss+1,ttt+1); //across point
    polyline([point(260,260),point(tre3,tim3)]); //radii feed
    polyline([point(260,260),point(tss1,ttt1)]); //radii across
end;
// Plot Smithchart's short stub'
with Wavelengths.Image1.canyas do
begin
    Wavelengths.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
    Wavelengths.image1.Canvas.Pen.Color := clFuchsia;
    Wavelengths.image1.Canvas.Brush.Color:= clFuchsia;
    polyline([point(260,260),point(475+7,260)]); //radii short stub
    arc(46-7,45-7,475+7,475+7,tss1,ttt1,475,260); //arc circle
end;

end;

end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TWavelengths.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
    Wavelengths.WindowState := wsMinimized;
    if Wavelengths.CheckBox1.Checked = True then
        begin
            Oscillater.Edit3.Text := Wavelengths.label1.Caption;
        end;
    if Wavelengths.CheckBox2.Checked = True then
        begin
            Oscillater.Edit3.Text := Wavelengths.label2.Caption;
        end;
    end;

procedure TWavelengths.Exit1Click(Sender: TObject);
begin
    Wavelengths.Close;
end;

end.
```



unit uuu013;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls;

type

TOscillater = class(TForm)

Button1: TButton;

Button2: TButton;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Edit3: TEdit;

procedure Button2Click(Sender: TObject);

procedure Button1Click(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

Oscillater: TOscillater;

implementation

uses uuu, uuu01, uuu019;

{ \$R *.DFM }



```

procedure TOscillator.Button1Click(Sender: TObject);
var line, stub, Dmg4, Zt : extended;
    a, b, fet, pix, originx, originy, line1, stub1, Dmg41, Zt1, wide1 : integer;
begin
// Other
    Patch.Label22.Left := 790;
    Patch.Label22.Top := 531;
    Patch.Label22.Caption := '';
// Calculate line, stub, joint, Dmg4, Zt
    line := StrToFloat(Oscillator.Edit1.Text)*length11;
    stub := StrToFloat(Oscillator.Edit2.Text)*length11;
    Zt := StrToFloat(Oscillator.Edit3.Text)*length11;
    Dmg4 := length11/4;
// Show value
    Patch.Label2.Caption := '1. Radius length = '+floattostr(Dmg4)+' mm.';
    Patch.Label3.Caption := '2. FET';
    Patch.Label4.Caption := '3. Load = '+floattostr(q2)+' Ohms';
    Patch.Label5.Caption := '4. Line length = '+floattostr(stub)+' mm.';
    Patch.Label6.Caption := '5. Line length = '+floattostr(line)+' mm.';
    Patch.Label7.Caption := '6. Line length = '+floattostr(Dmg4)+' mm.';
    Patch.Label8.Caption := '7. Line length = '+floattostr(Zt)+' mm.';
    Patch.Label9.Caption := '8. Line width = '+floattostr(wref)+' mm.';
// Line strip circuit
    Patch.Image2.Picture.LoadFromFile('paper1.1.bmp');
    pix := 4;
    fet := pix*5;
    originx := 216;
    originy := 228;

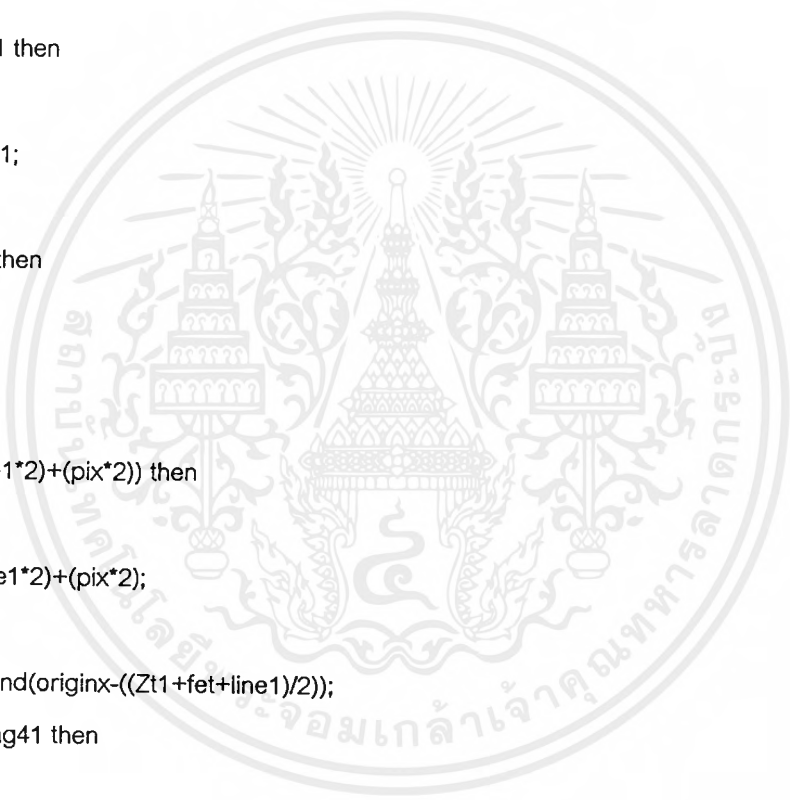
    line1 := round(line*pix);
    stub1 := round(stub*pix);
    Zt1 := round(Zt*pix);
    Dmg41 := round(Dmg4*pix);
    wide1 := round(wref*pix/2);
    if line1 < 1 then

```

```

begin
  line1 := 1;
end;
if stub1 < 1 then
begin
  stub1 := 1;
end;
if Zt1 < 1 then
begin
  Zt1 := 1;
end;
if Dmg41 < 1 then
begin
  Dmg41 := 1;
end;
if wide1 < 1 then
begin
  wide1 := 1;
end;
if fet < ((wide1*2)+(pix*2)) then
begin
  fet := (wide1*2)+(pix*2);
end;
originx := round(originx-((Zt1+fet+line1)/2));
if stub1 > Dmg41 then
begin
  originy := round(originy+((stub1+(wide1*2)+(Dmg41*2))/2));
end
else
begin
  originy := round(originy+(((wide1*2)+(Dmg41*3))/2));
end;
if (originx > 0) and (originy < 457) then
begin
  with Patch.Image2.Canvas do

```



```

begin
  Patch.Image2.Canvas.Pen.Width := 1;
  Patch.Image2.Canvas.Pen.Color := clblack;
  Patch.Image2.Canvas.Brush.Color := clblack;
  //stub (4)
  rectangle(originx,originy-stub1,originx+wide1+wide1,originy);
  //line (5)
  rectangle(originx+wide1,originy-stub1-wide1,originx+wide1+line1,originy-
stub1+wide1);
  //Dmg4 (6)
  rectangle(originx+wide1+line1+round(fet/2)-wide1,originy-stub1+round
(fet/2),originx+wide1+line1+round(fet/2)+wide1,originy-stub1+round(fet/2)+Dmg41);
  //Zt (7)
  rectangle(originx+wide1+line1+fet,originy-stub1-
wide1,originx+wide1+line1+fet+Zt1,originy-stub1+wide1);
  //splice (4+5)
  polygon([point(originx,originy-stub1),point(originx+wide1,originy-stub1-
wide1),point(originx+wide1,originy-stub1)]);
  //line D
  moveto(originx+wide1+round(line1/2),originy-stub1-wide1);
  lineto(originx+wide1+round(line1/2),originy-stub1-wide1-Dmg41-Dmg41-1);
  //line S
  moveto(originx+wide1+line1+fet+round(Zt1/2),originy-stub1-wide1);
  lineto(originx+wide1+line1+fet+round(Zt1/2),originy-stub1-wide1-Dmg41-
Dmg41-1);
  //pie D
  pie(originx+wide1+round(line1/2)-Dmg41+1,originy-stub1-wide1-Dmg41-Dmg41,
  originx+wide1+round(line1/2)+Dmg41,originy-stub1-wide1+1,
  originx+wide1+round(line1/2)-Dmg41,originy-stub1-wide1-Dmg41-Dmg41,
  originx+wide1+round(line1/2)-Dmg41,originy-stub1-wide1);
  //pie S
  pie(originx+wide1+line1+fet+round(Zt1/2)-Dmg41+1,originy-stub1-wide1-
Dmg41-Dmg41,
  originx+wide1+line1+fet+round(Zt1/2)+Dmg41,originy-stub1-wide1+1,
  originx+wide1+line1+fet+round(Zt1/2)+Dmg41,originy-stub1-wide1,

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        originx+wide1+line1+fet+round(Zt1/2)+Dmg41,originy-stub1-wide1-Dmg41-
Dmg41);

//supply D
    rectangle(originx+wide1+round(line1/2)-pix,originy-stub1-wide1-Dmg41-Dmg41-
pix-pix,
        originx+wide1+round(line1/2)+pix,originy-stub1-wide1-Dmg41-Dmg41);
//supply S
    rectangle(originx+wide1+line1+fet+round(Zt1/2)-pix,originy-stub1-wide1-Dmg41-
Dmg41-pix-pix,
        originx+wide1+line1+fet+round(Zt1/2)+pix,originy-stub1-wide1-Dmg41-
Dmg41);
    end;
end
else
begin
    Patch.Label22.Left := round(790/5);
    Patch.Label22.Top := round(531/2);
    Patch.Label22.Caption := 'Image is Outside';
end;
// Equivalent circuit
a := 188;
b := 88;
    { Patch.Label13.Left := 244; // 1
Patch.Label13.Top := 93;
Patch.Label14.Left := 135; // 1
Patch.Label14.Top := 93;
Patch.Label15.Left := 193; // 2
Patch.Label15.Top := 128;
Patch.Label16.Left := 63; // 3
Patch.Label16.Top := 170;
Patch.Label17.Left := 103; // 4
Patch.Label17.Top := 170;
Patch.Label18.Left := 144; // 5
Patch.Label18.Top := 128;
Patch.Label19.Left := 193; // 6

```

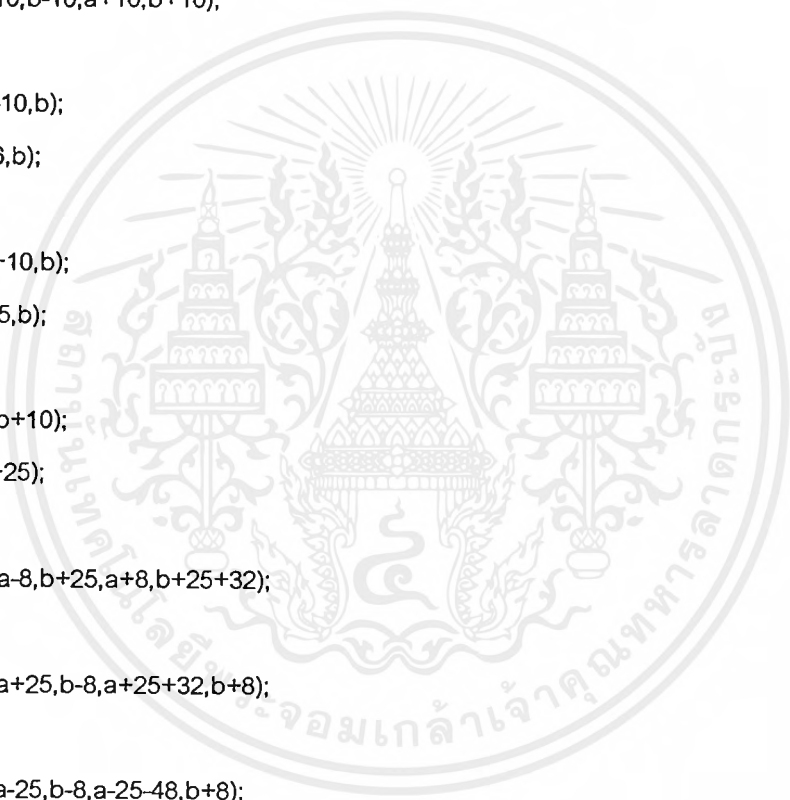
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Patch.Label19.Top := 170;
Patch.Label20.Left := 234; // 7
Patch.Label20.Top := 128;
}with Patch.Image1.Canvas do
begin

Patch.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Patch.Image1.Canvas.Pen.Color := clblack;
Patch.Image1.Canvas.Brush.Color := clblack;
// FET
ellipse(a-10,b-10,a+10,b+10);
// armlleft
moveto(a-10,b);
lineto(a-26,b);
// armright
moveto(a+10,b);
lineto(a+25,b);
// armlown
moveto(a,b+10);
lineto(a,b+25);
// G
rectangle(a-8,b+25,a+8,b+25+32);
// S
rectangle(a+25,b-8,a+25+32,b+8);
// D
rectangle(a-25,b-8,a-25-48,b+8);
moveto(a-25-48,b);
lineto(a-25-48-56,b);
// Load
moveto(a-25-48-56,b);
lineto(a-25-48-56,b+25);
rectangle(a-25-48-56-8,b+25,a-25-48-56+8,b+25+32);
// stub
moveto(a-25-48-16,b);
lineto(a-25-48-16,b+25);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

rectangle(a-25-48-16-8,b+25,a-25-48-16+8,b+25+32);
// ground
moveto(a-25-48-56,b+25+32);
lineto(a-25-48-56,b+25+32+16);

moveto(a-25-48-56-8,b+25+32+16);
lineto(a-25-48-56+8,b+25+32+16);

moveto(a-25-48-56-5,b+25+32+16+3);
lineto(a-25-48-56+5,b+25+32+16+3);

moveto(a-25-48-56-3,b+25+32+16+3+3);
lineto(a-25-48-56+3,b+25+32+16+3+3);
// supply S
moveto(a+25+16,b-8);
lineto(a+25+16,b-8-57);
rectangle(a+25+16+4,b-64,a+25+16-4,b-64-8);
pie(a+25+16-15,b-8-28-16,a+25+16+16,b-8-28+17,a+25+16+16,b-8-
28+16,a+25+16+16,b-8-28-16);
// supply D
moveto(a-25-24,b-8);
lineto(a-25-24,b-8-57);
rectangle(a-25-24-4,b-64,a-25-24+4,b-64-8);
pie(a-25-24-15,b-8-28-16,a-25-24+16,b-8-28+17,a-25-24-16,b-8-28-16,a-25-24-
16,b-8-28+16);
end;
with Patch.Image1.Canvas do
begin
Patch.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Patch.Image1.Canvas.Font.Color := clwhite;
Patch.Image1.Canvas.Brush.Color := clBlack;
Patch.Image1.Canvas.TextOut(244-7,93-48,'1');
Patch.Image1.Canvas.TextOut(135-8,93-48,'1');
Patch.Image1.Canvas.TextOut(193-8,128-48,'2');
Patch.Image1.Canvas.TextOut(63-7,170-48,'3');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Patch.Image1.Canvas.TextOut(103-7,170-48,'4');
Patch.Image1.Canvas.TextOut(144-8,128-48,'5');
Patch.Image1.Canvas.TextOut(193-8,170-48,'6');
Patch.Image1.Canvas.TextOut(234-8,128-48,'7');
end;
// Close Form
Patch.Show;
Oscillater.Close;
end;

procedure TOscillater.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    Oscillater.Close;
end;

end.
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

unit uuu014;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, ExtCtrls;

type

TManagement = class(TForm)

Panel1: TPanel;

Image1: TImage;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Image2: TImage;

procedure Label1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
Y: Integer);

procedure Label2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
Y: Integer);

procedure Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
Y: Integer);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

Management: TManagement;

implementation

{ \$R *.DFM }

procedure TManagement.Label1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
X, Y: Integer);  
begin  
    Management.Image2.Visible := True;  
    Management.Image2.Picture.LoadFromFile('Avseq01.1.bmp');  
end;  
  
procedure TManagement.Label2MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState;  
    X, Y: Integer);  
begin  
    Management.Image2.Visible := True;  
    Management.Image2.Picture.LoadFromFile('Avseq02.2.bmp');  
end;  
  
procedure TManagement.Image1MouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState;  
    X, Y: Integer);  
begin  
    Management.Image2.Visible := False;  
end;  
  
end.
```



unit uuu015;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, ExtCtrls;

type

TAbout = class(TForm)

Panel1: TPanel;

Panel2: TPanel;

Image1: TImage;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Button1: TButton;

procedure Button1Click(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

About: TAbout;

implementation

{\$R *.DFM}

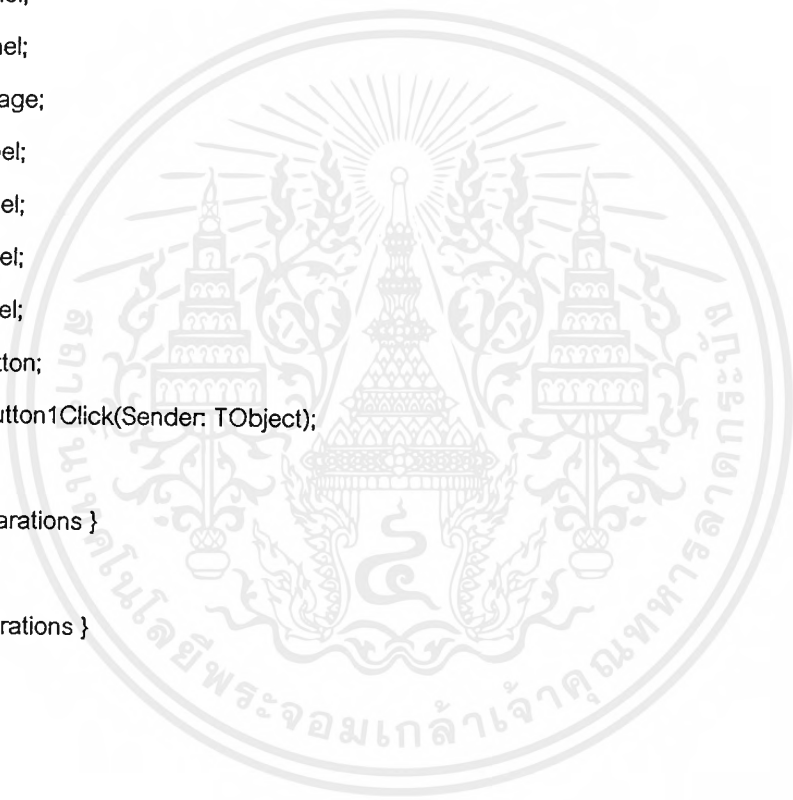
procedure TAbout.Button1Click(Sender: TObject);

begin

About.Close;

end;

end.



```
unit uuu016;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
StdCtrls, Math;
```

```
type
```

```
TAdmittance = class(TForm)
```

```
Edit1: TEdit;
```

```
Edit2: TEdit;
```

```
Button1: TButton;
```

```
Button2: TButton;
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Label2: TLabel;
```

```
procedure Button2Click(Sender: TObject);
```

```
procedure Button1Click(Sender: TObject);
```

```
private
```

```
{ Private declarations }
```

```
public
```

```
{ Public declarations }
```

```
end;
```

```
var
```

```
Admittance: TAdmittance;
```

```
re, im, re3, im3, rad, ree1, imm1, ree, imm : extended;
```

```
num, re1, im1, stubx1, stuby1 : integer;
```

```
implementation
```

```
uses uuu, uuu011;
```

```
{SR *.DFM}
```



```

procedure TAdmittance.Button1Click(Sender: TObject);
var  real, imagin, stubx, stuby, i, i1, j, j1, xx, xx1, rer, rer1, cenxx,
    cenyy, cenzz, zetaa, aree, cenxx1, cenyy1, cenzz1, zetaa1, aree1, cenx,
    cenx1, ceny, ceny1, cenx, cenx1, zeta, zeta1, are, are1 : extended;
begin
// Other
    Immittancemat.Image1.Picture.LoadFromFile('Smithchart1.1.bmp');
// Recive value
    real := StrToFloat(Admittance.edit1.text);
    imagin := StrToFloat(Admittance.edit2.text);
// Calculate point re,im,rad,stubx,stuby,re3,im3
    num := 1;
    re := (power(real,2)-1)+power(imagin,2);
    re := re/(power(real+1,2)+power(imagin,2));
    im := (2*imagin)/(power(real+1,2)+power(imagin,2));
    re := 260+(re*214);
    im := 260-(im*215);
    rad := sqrt(power(re-260,2)+power(im-260,2));
    stubx := (power(rad,2)+55640)/214;
    stuby := sqrt(abs(power(rad,2)-power(stubx-260,2)))+260;
    if ((re = 260) and (im = 260)) then
        begin
            with Immittancemat.Image1.canvas do
                begin
                    Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
                    Immittancemat.image1.canvas.Pen.Color := clMaroon;
                    Immittancemat.image1.canvas.brush.color:= clMaroon;
                    ellipse(259,259,261,261); // center point
                end;
            Immittancemat.label2.caption := 'NO value';
            Immittancemat.label3.caption := 'NO value';
            Immittancemat.label4.caption := 'NO value';
            Immittancemat.label5.caption := 'NO value';
            Immittancemat.label6.caption := 'NO value';
            Immittancemat.label7.caption := 'NO value';
        end;
end;

```

```

end
else
begin
repeat
if im < 260 then
begin
if re < 260 then
begin
re3 := 260+(re-260)*num;
im3 := 260+(im-260)*num;
end
else
begin
re3 := 260-(260-re)*num;
im3 := 260+(im-260)*num;
end;
end
else
begin
if re < 260 then
begin
re3 := 260+(re-260)*num;
im3 := 260-(260-im)*num;
end
else
begin
re3 := 260-(260-re)*num;
im3 := 260-(260-im)*num;
end;
end;
num := num+1;
until sqrt(power(re3-260,2)+power(im3-260,2)) >= 260;
// Calculate are, are1, aree, aree1
i := -(stubx-260)/214; //lown
j := (stuby-260)/215;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

if $(-2*j = 0)$ and $(\text{power}(i+1,2)+\text{power}(j,2) = 0)$ then

begin

xx := 0;

end

else

begin

xx := $-2*j/(\text{power}(i+1,2)+\text{power}(j,2))$;

end;

rer := $(\text{power}(0,2)-1)+\text{power}(xx,2)$;

ree := $\text{rer}/(\text{power}(0+1,2)+\text{power}(xx,2))$;

imm := $(2*xx)/(\text{power}(0+1,2)+\text{power}(xx,2))$;

ree := $260+(\text{ree}*214)$;

imm := $260-(\text{imm}*215)$;

cenx := $(\text{re}+\text{stubx})/2$;

ceny := $(\text{im}+\text{stuby})/2$;

cenz := $\text{sqrt}(\text{power}(\text{cenx}-\text{re},2)+\text{power}(\text{ceny}-\text{im},2))$;

zeta := $2*\arcsin(\text{cenz}/\text{rad})$;

are := $(\text{zeta}*0.5)/(2*\pi)$;

cenxx := $(474+\text{ree})/2$;

cenyy := $(260+\text{imm})/2$;

cenzz := $\text{sqrt}(\text{power}(\text{cenxx}-474,2)+\text{power}(\text{cenyy}-260,2))$;

zetaa := $2*\arcsin(\text{cenzz}/214)$;

aree := $(\text{zetaa}*0.5)/(2*\pi)$;

if ree > 260 then

begin

if imm = 260 then

begin

ree := ree+7;

end

else

begin

ree := ree+7;

imm := imm+7;

end;

end

```

else
begin
if imm = 260 then
begin
ree := ree-7;
end
else
begin
ree := ree-7;
imm := imm+7;
end;
end;

i1 := -(stubb-260)/214; //top
j1 := (260-(stubby-260)-260)/215;
if (-2*j1 = 0) and (power(i1+1,2)+power(j1,2) = 0) then
begin
xx1 := 0;
end
else
begin
xx1 := -2*j1/(power(i1+1,2)+power(j1,2));
end;
rer1 := (power(0,2)-1)+power(xx1,2);
ree1 := rer1/(power(0+1,2)+power(xx1,2));
imm1 := (2*xx1)/(power(0+1,2)+power(xx1,2));
ree1 := 260+(ree1*214);
imm1 := 260-(imm1*215);
cenx1 := (re+stubb)/2;
ceny1 := (im+260-(stubby-260))/2;
cenz1 := sqrt(power(cenx1-re,2)+power(ceny1-im,2));
zeta1 := 2*arcsin(cenz1/rad);
are1 := (zeta1*0.5)/(2*pi);
cenxx1 := (46+ree1)/2;
ceny1 := (260+imm1)/2;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

cenzz1 := sqrt(power(cenxx1-46,2)+power(cenyy1-260.2));
zetaa1 := 2*arcsin(cenzz1/214);
aree1 := (zetaa1*0.5)/(2*pi);
if ree1 > 260 then
begin
if imm1 = 260 then
begin
ree1 := ree1+7;
end
else
begin
ree1 := ree1+7;
imm1 := imm1-7;
end;
end
else
begin
if imm1 = 260 then
begin
ree1 := ree1+7;
end
else
begin
ree1 := ree1-7;
imm1 := imm1-7;
end;
end;
end;
// Calculate are, are1
if re < (260-(stubx-260)) then //top
begin
are1 := 0.5-are1;
end
else
begin
if im < (260-(stuby-260)) then

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
    are1 := 0.5-are1;
end;
end;
if re > stubx then //lown
begin
    are := 0.5-are;
end
else
begin
    if im < (260-(stuby-260)) then
begin
    are := 0.5-are;
end;
end;
end;
// Show value
re1 := round(re);
im1 := round(im);
stubx1 := round(stubx);
stuby1 := round(stuby);
are := round(are*100000)/100000;
aree := round(aree*100000)/100000;
are1 := round(are1*100000)/100000;
aree1 := round(aree1*100000)/100000;
Immittancemat.label2.caption := floattostr(are1);
Immittancemat.label3.caption := floattostr(aree1);
Immittancemat.label4.caption := floattostr(aree1+0.25);
Immittancemat.label5.caption := floattostr(are);
Immittancemat.label6.caption := floattostr(aree+0.25);
Immittancemat.label7.caption := floattostr(aree);
// Plot Smithchart
if Immittancemat.RadioButton1.Font.Color = ciblue then
begin
    with Immittancemat.Image1.canvas do // Cause 1
begin

```

```

Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Immittancemat.image1.canvas.Pen.Color := clMaroon;
Immittancemat.image1.canvas.brush.color:= clMaroon;
ellipse(259,259,261,261); // center point
ellipse(re1-1,im1-1,re1+1,im1+1); // feed point
ellipse(stubx1-1,260-(stuby1-260)-1,stubx1+1,260-(stuby1-260)+1); // across
unit curcle point

polyline([point(260,260),point(round(re3),round(im3))]); // radii feed
polyline([point(260,260),point(260+(stubx1-260)*num,260+(260-(stuby1-260)-
260)*num)]); // radii cross unit curcle
arc(260-round(rad),260-
round(rad),260+round(rad),260+round(rad),re1,im1,stubx1,260-(stuby1-260)); // arc
circle

end;
// 'open stub'
with Immittancemat.Image1.canvas do
begin
Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Immittancemat.image1.canvas.Pen.Color := clFuchsia;
Immittancemat.image1.canvas.brush.colpr:= clFuchsia;
polyline([point(260,260),point(46-4,260)]);
polyline([point(260,260),point(round(ree1),round(imm1))]);
arc(46-4,45-4,475+4,475+4,round(ree1),round(imm1),46,260);
end;
// 'short stub'
with Immittancemat.Image1.canvas do
begin
Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Immittancemat.image1.canvas.Pen.Color := clblue;
Immittancemat.image1.canvas.brush.color:= clblue;
polyline([point(260,260),point(475+7,260)]);
polyline([point(260,260),point(round(ree1),round(imm1))]);
arc(46-7,45-7,475+7,475+7,round(ree1),round(imm1),475,260);
end;
// Other

```

```

Immittancemat.Label5.Enabled := False;
Immittancemat.Label6.Enabled := False;
Immittancemat.Label7.Enabled := False;
Immittancemat.Label8.Enabled := False;
Immittancemat.CheckBox3.Enabled := False;
Immittancemat.CheckBox4.Enabled := False;
end
else
begin
with Immittancemat.Image1.canvas do // Cause 2
begin
Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Immittancemat.Canvas.Pen.Color := clMaroon;
Immittancemat.Canvas.Brush.Color:= clMaroon;
ellipse(259,259,261,261); // center point
ellipse(re1-1,im1-1,re1+1,im1+1); // feed point
ellipse(stubx1-1,stuby1-1,stubx1+1,stuby1+1); // across unit curcle point
polyline([point(260,260),point(round(re3),round(im3))]); // radii feed
polyline([point(260,260),point(260+(stubx1-260)*num,260+(stuby1-260)*num)]);
// radii cross unit curcle
arc(260-round(rad),260-
round(rad),260+round(rad),260+round(rad),re1,im1,stubx1,stuby1); // arc circle
end;
// 'open stub'
with Immittancemat.Image1.canvas do
begin
Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
Immittancemat.image1.canvas.Pen.Color := clFuchsia;
Immittancemat.image1.canvas.brush.color:= clFuchsia;
polyline([point(260,260),point(46-4,260)]);
polyline([point(260,260),point(round(ree),round(imm))]);
arc(46-4,45-4,475+4,475+4,round(ree),round(imm),46,260);
end;
// 'short stub'
with Immittancemat.Image1.canvas do

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
  Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
  Immittancemat.Image1.Canvas.Pen.Color := clblue;
  Immittancemat.image1.Canvas.Brush.Color:= clblue;
  polyline([point(260,260),point(475+7,260)]);
  polyline([point(260,260),point(round(ree),round(imm))]);
  arc(46-7,45-7,475+7,475+7,round(ree),round(imm),475,260);
end;

// Other
Immittancemat.Label1.Enabled := False;
Immittancemat.Label2.Enabled := False;
Immittancemat.Label3.Enabled := False;
Immittancemat.Label4.Enabled := False;
Immittancemat.CheckBox1.Enabled := False;
Immittancemat.CheckBox2.Enabled := False;
end;
end;

// Close Form
if Main.SavePictureAs1.Enabled = False then
begin
  Main.SavePictureAs1.Enabled := True;
end;
Immittancemat.Show;
Admittance.Close;
end;

procedure TAdmittance.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  Admittance.Close;
end;

end.

```

```

unit uuu017;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Math;

type
  TImpedance = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Impedance: TImpedance;
  im, re : extended;
  tim, tre, tre3, tim3, tss, ttt, tss1, ttt1 : integer;
implementation

uses uuu, uuu012;

{$R *.DFM}

procedure TImpedance.Button1Click(Sender: TObject);

```



```

var real, imagin, num, rad, cenx1, ceny1, cenx1, are, re3, im3, ss, tt, ss1,
    tt1, are1, are2 : extended;

begin
// Other
    Wavelengths.Image1.Picture.LoadFromFile('Smithchart1.1.bmp');
// Recive
    real := StrToFloat(Impedance.Edit1.Text);
    imagin := StrToFloat(Impedance.Edit2.Text);
// Calculate point re, im, re3, im3, ss, tt, ss1, tt1
    num := 1;
    re := (power(real,2)-1)+power(imagin,2);
    re := re/(power(real+1,2)+power(imagin,2));
    im := (2*imagin)/(power(real+1,2)+power(imagin,2));
    re := 260+(re*214);
    im := 260-(im*215);
    if ((re = 260) and (im = 260)) then
        begin
            with Wavelengths.Image1.Canvas do
                begin
                    Wavelengths.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
                    Wavelengths.image1.Canvas.Pen.Color := clblack;
                    Wavelengths.image1.Canvas.Brush.Color:= clblack;
                    ellipse(259,259,261,261); // center point
                end;
            Wavelengths.Label1.Caption := 'No value';
            Wavelengths.Label2.Caption := 'No value';
        end
    else
        begin
            repeat
                if im < 260 then
                    begin
                        if re < 260 then
                            begin
                                re3 := 260+(re-260)*num;

```

```

    im3 := 260+(im-260)*num;
    ss := (260-re)+260;
    tt := (260-im)+260;
    ss1 := 260-(260-ss)*num;
    tt1 := 260-(260-tt)*num;
end
else
begin
    re3 := 260-(260-re)*num;
    im3 := 260+(im-260)*num;
    ss := -(-260+re)+260;
    tt := (260-im)+260;
    ss1 := 260+(ss-260)*num;
    tt1 := 260-(260-tt)*num;
end;
end
else
begin
if re < 260 then
begin
    re3 := 260+(re-260)*num;
    im3 := 260-(260-im)*num;
    ss := (260-re)+260;
    tt := -(-260+im)+260;
    ss1 := 260-(260-ss)*num;
    tt1 := 260+(tt-260)*num;
end
end
else
begin
    re3 := 260-(260-re)*num;
    im3 := 260-(260-im)*num;
    ss := -(re-260)+260;
    tt := -(im-260)+260;
    ss1 := 260+(ss-260)*num;
    tt1 := 260+(tt-260)*num;

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    end;

    end;

    num := num+0.1;

    until sqrt(power(re3-260,2)+power(im3-260,2)) >= 260;

// Calculate are1, are2

    rad := sqrt(power(re-260,2)+power(im-260,2));

    cenx1 := ((260-rad)+ss)/2;

    ceny1 := (260+tt)/2;

    cenx1 := sqrt(power(cenx1-(260-rad),2)+power(ceny1-260,2));

    are := 2*arcsin(cenz1/rad);

    are1 := (are*0.5)/(2*pi);

    if tt > 260 then
        begin
            are1 := 0.5-are1;
        end;
    if are1 > 0.25 then
        begin
            are2 := are1-0.25;
        end
    else
        begin
            are2 := are1+0.25;
        end;
    end;

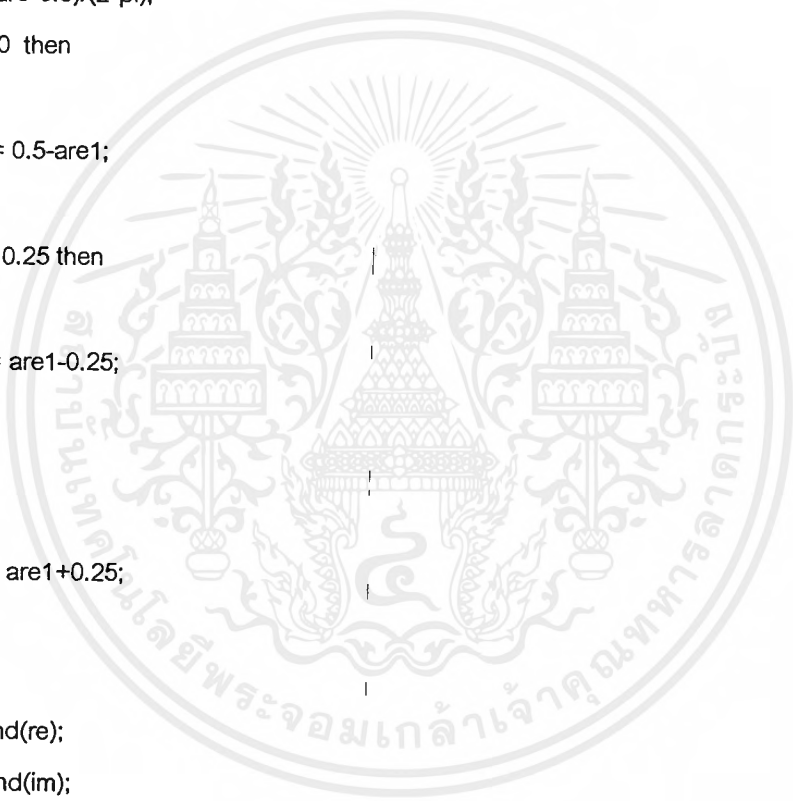
// Show value

    tre := round(re);
    tim := round(im);
    tss := round(ss);
    ttt := round(tt);
    tss1 := round(ss1);
    ttt1 := round(tt1);
    tre3 := round(re3);
    tim3 := round(im3);

    Wavelengths.Label1.Caption := floattostr(round(are1*100000)/100000);
    Wavelengths.Label2.Caption := floattostr(round(are2*100000)/100000);

// Plot Smithchart

```



```

with Wavelengths.Image1.Canvas do
begin
    Wavelengths.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
    Wavelengths.image1.Canvas.Pen.Color := clblack;
    Wavelengths.image1.Canvas.Brush.Color:= clblack;
    ellipse(259,259,261,261); // center point
    ellipse(tre-1,tim-1,tre+1,tim+1); // feed point
    ellipse(tss-1,ttt-1,tss+1,ttt+1); //across point
    polyline([point(260,260),point(tre3,tim3)]); //radii feed
    polyline([point(260,260),point(tss1,ttt1)]); //radii across
end;
if (Wavelengths.CheckBox1.Checked = True) or
(Wavelengths.CheckBox2.Checked = False) then
begin
    if Wavelengths.CheckBox1.Checked = False then
        begin
            Wavelengths.CheckBox1.Checked := True;
        end;
    // Plot Smithchart'Open stub'
    with Wavelengths.Image1.Canvas do
        begin
            Wavelengths.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
            Wavelengths.image1.Canvas.Pen.Color := clblue;
            Wavelengths.image1.Canvas.Brush.Color:= clblue;
            polyline([point(46-4,260),point(260,260)]); //radii open stub
            arc(46-4,45-4,475+4,475+4,tss1,ttt1,46,260); //arc circle
        end;
    end
else
begin
    // Plot Smithchart'short stub'
    with Wavelengths.Image1.Canvas do
        begin
            Wavelengths.Image1.Canvas.Pen.Width := 1;
            Wavelengths.image1.Canvas.Pen.Color := clFuchsia;

```

```

Wavelengths.image1.Canvas.Brush.Color:= clFuchsia;
polyline([point(260,260),point(475+7,260)]); //radii short stub
arc(46-7,45-7,475+7,475+7,tss1,ttt1,475,260); //arc circle
end;
end;
end;
// Close Form
if Main.SavePictureAs1.Enabled = False then
begin
Main.SavePictureAs1.Enabled := True;
end;
Wavelengths.Show;
Impedance.Close;
end;

procedure TImpedance.Button2Click(Sender: TObject);
begin
Impedance.Close;
end;

end.

```



```

unit uuu018;

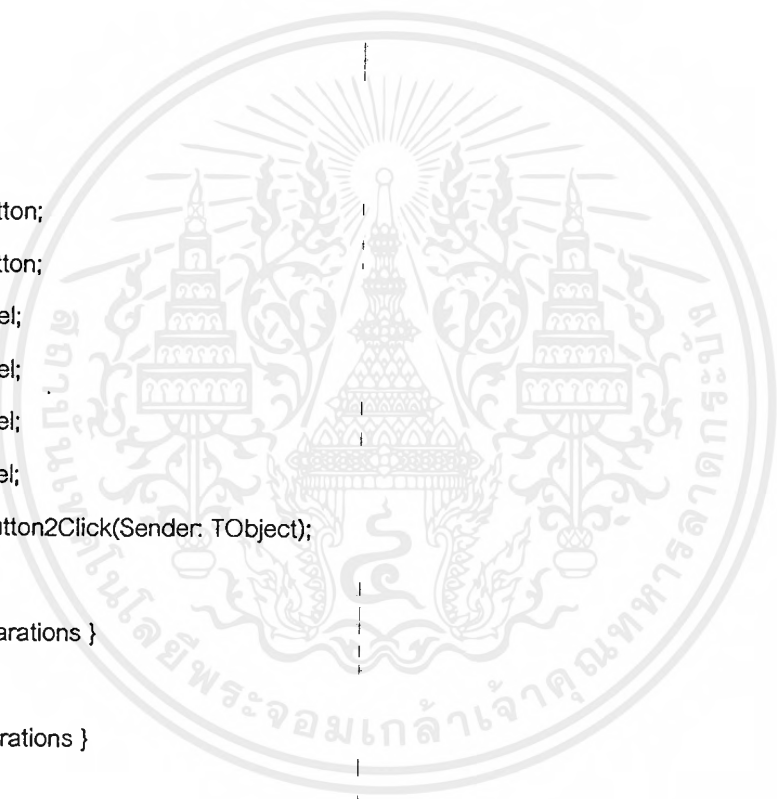
interface

uses

  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls;

type
  TOscilater = class(TForm)
    Edit1: TEdit;
    Edit2: TEdit;
    Edit3: TEdit;
    Edit4: TEdit;
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  Oscilater: TOscilater;
implementation
  {$R *.DFM}
  procedure TOscilater.Button2Click(Sender: TObject);
  begin
    close;
  end;
end.

```



unit uuu019;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
ExtCtrls, StdCtrls, Menus;

type

TPatch = class(TForm)

Panel1: TPanel;

Panel2: TPanel;

Panel3: TPanel;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Panel4: TPanel;

Label12: TLabel;

Image1: TImage;

Label11: TLabel;

Image2: TImage;

Label22: TLabel;

PopupMenu1: TPopupMenu;

SavePicture1: TMenuItem;

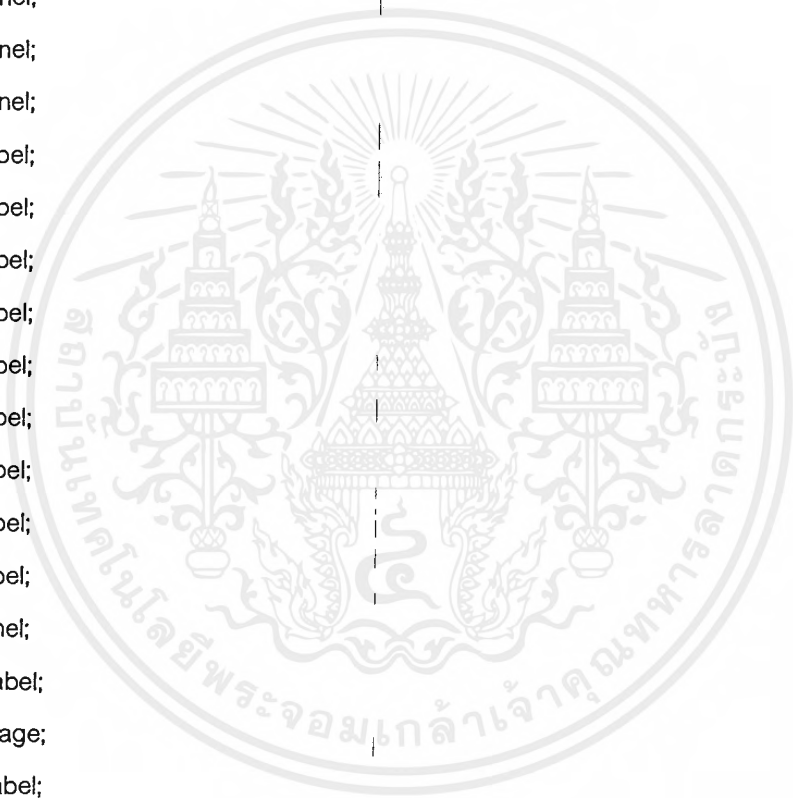
Save1: TMenuItem;

N1: TMenuItem;

Exit1: TMenuItem;

procedure Exit1Click(Sender: TObject);

procedure FormActivate(Sender: TObject);



```

procedure FormCloseQuery(Sender: TObject; var CanClose: Boolean);
// procedure FormActivate(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Patch: TPatch;

implementation
uses uuu;

{$R *.DFM}

procedure TPatch.Exit1Click(Sender: TObject);
begin
  Patch.Close;
end;

procedure TPatch.FormActivate(Sender: TObject);
begin
  Main.Save1.Enabled := True;
  Main.SaveAs1.Enabled := True;
  Main.Print1.Enabled := True;
end;

procedure TPatch.FormCloseQuery(Sender: TObject; var CanClose: Boolean);
begin
  Main.Save1.Enabled := False;
  Main.SaveAs1.Enabled := False;
  Main.Print1.Enabled := False;
end;
end.

```



```

unit uu020;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TAnswerZandYtoG = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Button1: TButton;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  AnswerZandYtoG: TAnswerZandYtoG;

implementation

{$R *.DFM}

procedure TAnswerZandYtoG.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  Close;
end;

end.

```



```

unit uu022;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls;

type
  TAnswergammaT = class(TForm)
    Panel1: TPanel;
    Button1: TButton;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    Label6: TLabel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  AnswergammaT: TAnswergammaT;

implementation
{$R *.DFM}

procedure TAnswergammaT.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  Close;
end;

end.

```

unit uu023;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
ExtCtrls, StdCtrls, Menus;

type

TRegion1 = class(TForm)

Panel1: TPanel;

c: TPanel;

Image1: TImage;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

Label12: TLabel;

Label13: TLabel;

Label14: TLabel;

Label15: TLabel;

Image2: TImage;

Label16: TLabel;

Label17: TLabel;

Label18: TLabel;

Label19: TLabel;

Label20: TLabel;

Label21: TLabel;



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Label24: TLabel;  
Label25: TLabel;  
PopupMenu1: TPopupMenu;  
SavePicture1: TMenuItem;  
N1: TMenuItem;  
Exit1: TMenuItem;  
procedure Exit1Click(Sender: TObject);  
private  
  { Private declarations }  
public  
  { Public declarations }  
end;  
  
var  
  Region1: TRegion1;  
  
implementation  
  
{SR *.DFM}  
  
procedure TRegion1.Exit1Click(Sender: TObject);  
begin  
  Region1.Close;  
end;  
  
end.
```



unit uuu024;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
ExtCtrls, StdCtrls, Menus;

type

TRegion2 = class(TForm)

Panel1: TPanel;

Image1: TImage;

Panel2: TPanel;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

Label12: TLabel;

Label13: TLabel;

Label14: TLabel;

Label15: TLabel;

Image2: TImage;

Label16: TLabel;

Label17: TLabel;

Label18: TLabel;

Label19: TLabel;

Label20: TLabel;

Label21: TLabel;



```

Label22: TLabel;
Label23: TLabel;
Label24: TLabel;
Label25: TLabel;
PopupMenu1: TPopupMenu;
SavePicture1: TMenuItem;
N1: TMenuItem;
Exit1: TMenuItem;
procedure Exit1Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Region2: TRegion2;

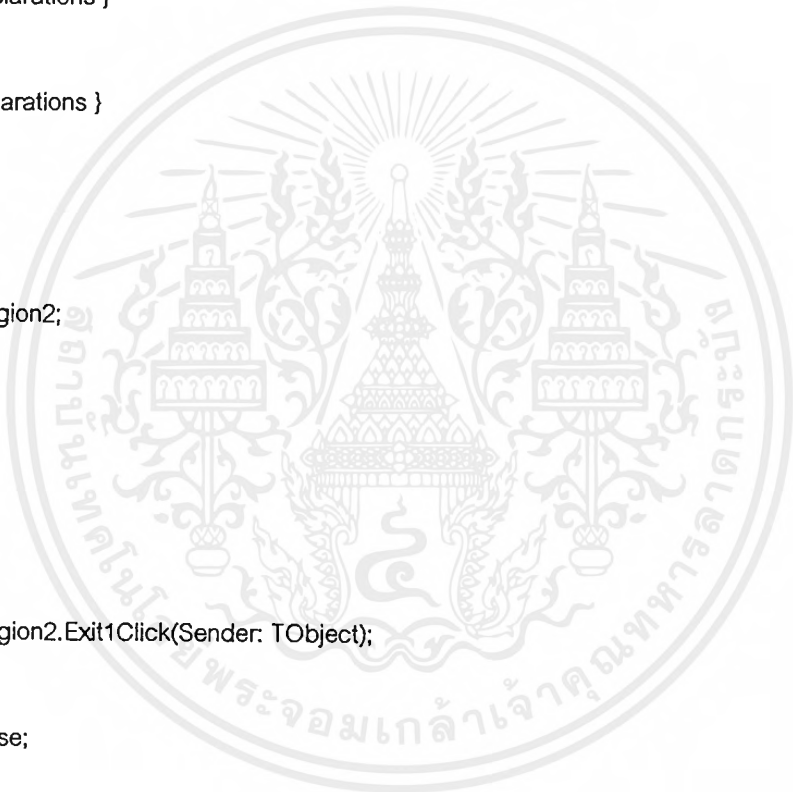
implementation

{$R *.DFM}

procedure TRegion2.Exit1Click(Sender: TObject);
begin
  Region2.Close;
end;

end.

```



unit uuu025;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
ExtCtrls, StdCtrls, Menus;

type

TRegion3 = class(TForm)

Panel1: TPanel;

Image1: TImage;

Panel2: TPanel;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

Label12: TLabel;

Label13: TLabel;

Label14: TLabel;

Label15: TLabel;

Image2: TImage;

Label16: TLabel;

Label17: TLabel;

Label18: TLabel;

Label19: TLabel;

Label20: TLabel;

Label21: TLabel;



```
Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Label24: TLabel;  
Label25: TLabel;  
PopupMenu1: TPopupMenu;  
SavePicture1: TMenuItem;  
N1: TMenuItem;  
Exit1: TMenuItem;  
procedure Exit1Click(Sender: TObject);  
private  
  { Private declarations }  
public  
  { Public declarations }  
end;  
  
var  
  Region3: TRegion3;  
  
implementation  
  
{$R *.DFM}  
  
procedure TRegion3.Exit1Click(Sender: TObject);  
begin  
  Region3.Close;  
end;  
  
end.
```



unit uuu026;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
ExtCtrls, StdCtrls, Menus;

type

TRegion4 = class(TForm)

Panel1: TPanel;

Image1: TImage;

Panel2: TPanel;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

Label12: TLabel;

Label13: TLabel;

Label14: TLabel;

Label15: TLabel;

Image2: TImage;

Label16: TLabel;

Label17: TLabel;

Label18: TLabel;

Label19: TLabel;

Label20: TLabel;

Label21: TLabel;



```
Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Label24: TLabel;  
Label25: TLabel;  
PopupMenu1: TPopupMenu;  
SavePicture1: TMenuItem;  
N1: TMenuItem;  
Exit1: TMenuItem;  
procedure Exit1Click(Sender: TObject);  
private  
  { Private declarations }  
public  
  { Public declarations }  
end;  
  
var  
  Region4: TRegion4;  
  
implementation  
  
{$R *.DFM}  
  
procedure TRegion4.Exit1Click(Sender: TObject);  
begin  
  Region4.Close;  
end;  
  
end.
```



unit uuu027;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, ExtCtrls;

type

TCompare = class(TForm)

Panel1: TPanel;

Button1: TButton;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

procedure Button1Click(Sender: TObject);

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

Compare: TCompare;

implementation

{\$R *.DFM}

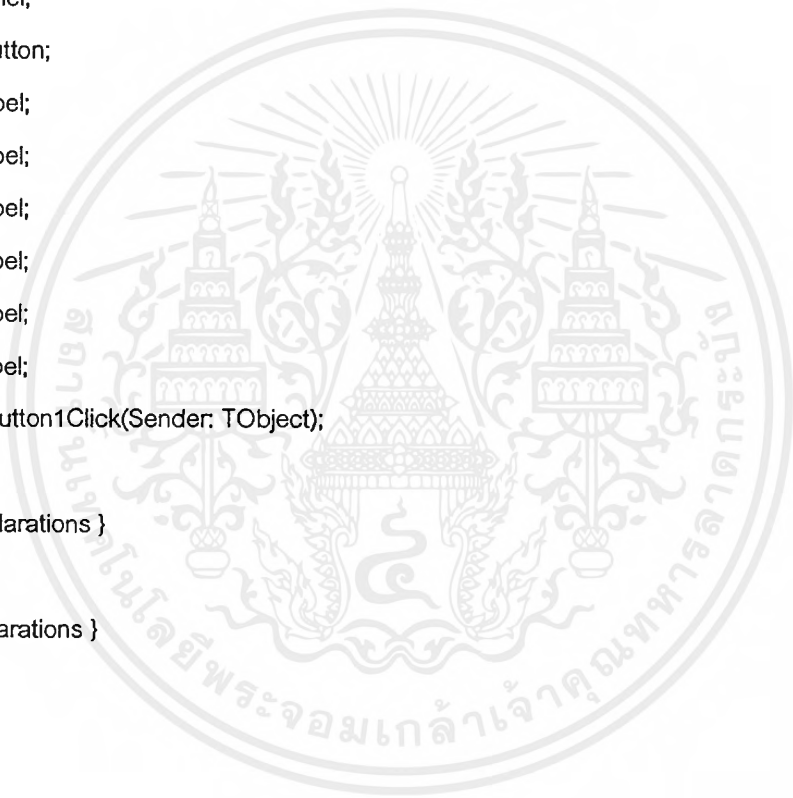
procedure TCompare.Button1Click(Sender: TObject);

begin

Close;

end;

end.



unit uu028;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls, ComCtrls, Tabnotbk, Menus;

type

```
THelp = class(TForm)
  MainMenu1: TMainMenu;
  Introductio1: TMenuItem;
  N1: TMenuItem;
  Abstract1: TMenuItem;
  N2: TMenuItem;
  Objective1: TMenuItem;
  N3: TMenuItem;
  ProgramUSing1: TMenuItem;
  N4: TMenuItem;
  N5: TMenuItem;
  Memo1: TMemo;
  procedure Introductio1Click(Sender: TObject);
  procedure Abstract1Click(Sender: TObject);
  procedure Objective1Click(Sender: TObject);
  procedure ProgramUSing1Click(Sender: TObject);
```

private

{ Private declarations }

public

{ Public declarations }

end;

var

Help: THelp;

implementation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

{SR *.DFM}

```
procedure THelp.Introductio1Click(Sender: TObject);  
begin  
    Help.Memo1.Lines.LoadFromFile('Introduction.txt');  
end;
```

```
procedure THelp.Abstract1Click(Sender: TObject);  
begin  
    Help.Memo1.Lines.LoadFromFile('Abstract.txt');  
end;
```

```
procedure THelp.Objective1Click(Sender: TObject);  
begin  
    Help.Memo1.Lines.LoadFromFile('Objective.txt');  
end;
```

```
procedure THelp.ProgramUSing1Click(Sender: TObject);  
begin  
    Help.Memo1.Lines.LoadFromFile('Program_using.txt');  
end;
```

```
end.
```

สัญลักษณ์ต่างๆ

A_i	Current gain
A_v	Voltage gain
B, B_L, B_C	Susceptances
BW	Bandwidth
C, C_1	Capacitances
c	Velocity of electromagnetic wave in free space
E	Electric field
\vec{E}	Electric field vectors
e	Eccentricity
f	Frequency
f_c	Cut off frequency
f_r	Resonant frequency
G	Gain
	Conductance
g_i	Input conductance
g_o	Output conductance
H	Magnetic field
\vec{H}	Magnetic field vectors
h	Substrate thickness
I, \vec{I}, I_1	Electric currents
J, \vec{J}	Electric current densities
$J_o(x), J_n(x)$	Bessel functions
j	$\sqrt{-1}$
K	Stability factor
k_o	Free – space wave number
L	Length of the microstrip antenna
	Inductance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

λ, λ_1	Lengths of transmission lines
\bar{P}	Polarization vector
P_i	Power input
P_o	Power output
P_R	Power radiated
P_T	Total power
Q	Quality factor
Q_T	Total quality factor
q	Eigenvalue
R	Resistance
R_r	Radiation resistances
R_{in}	Real part of input impedance
r	Radial distance
S	Scattering parameter
	Surface area
TE	Transverse electric
TEM	Transverse electromagnetic
TM	Transverse magnetic
T_{amb}, T_{max}	Temperatures
t	Strip thickness
V, V_1	Voltages
$VSWR$	Voltage standing wave ratio
v_p	Phase velocity
W	Width of microstrip line
W_{eff}	Effective width
X, X_L	Reactances
X_{in}	Imaginary part of input impedance
Y, Y_L	Admittances
Y_o	Characteristic admittances
Y_{in}	Input admittances

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Z, Z_L	Impedance
Z_{in}	Input impedance
Z_0	Characteristic impedances
α	Attenuation constant
β	Phase constants
δ	Skin depth
ϵ	Permittivity
ϵ''	Imaginary component of ϵ
ϵ_{er}	Effective relative permittivity
ϵ_r	Relative permittivity
ϵ_0	Free-space permittivity
γ	Propagation constant
η	Efficiency
η_0	Free-space impedance ($120\pi \text{ ohms}$)
λ_m	Wavelength in microstrip
λ_0	Free-space wavelength
μ	Permeability
μ_r	Relative permeability
μ_0	Free-space permeability
ρ	Charge density
Γ, Γ_{mn}	Cylindrical coefficients Reflection coefficients
σ	Conductivity
Ω	ohms
ω	Angular frequencies
π	A constant (= 3.1416)
ϕ	Electrostatic Potential azimuth angle
ψ	Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

θ

Angle

 θ_{\max}

Maximum scan angle

 ξ

Elliptical coordinate wave number

 ξ_0

Free-space admittance

