ปีการศึกษา 2532

โปรแกรมช่วยออกแบบวงจรขยายความถี่สูง

โดย

นาย สิทธิชัย ทาทิพย์ 313525

นส. ดวงแข แสงศรี 313508

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. กนก เจนจิรชพงษ์เวช

อ. กฤตากร กล่อมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2532

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม สาขา เทคโนโลยีโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โปรแกรมช่วยออกแบบวงจรขยายความถี่สูง

ผู้จัดทำ 1. นาย สิทธิชัย ทาทิพย์

2. นส. ดวงแข แสงศรี

อาจารย์ที่ปรึกษา

( )

อาจารย์ที่ปรึกษา

( )

อาจารย์ที่ปรึกษา

( )

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมช่วยออกแบบวงจรขยายความถี่สูง

นาย สิทธิชัย ทาทิพย์
น.ส. ดวงแข แสงศรี
ผศ.ดร. กนก เจนจิระพงษ์เวช
อ. กฤดากร กล่อมการ
อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นโปรแกรมที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการช่วยออกแบบวงจรขยายความถี่สูง ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาของการออสซิเลท(oscillate) และการส่งผ่านกำลังสูงสุดของวงจร โดยใช้แมทชิ่งแบบต่าง ๆ เพื่อทำให้เกิดความรวดเร็วในการคำนวณ และไม่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการออกแบบ ซึ่งโปรแกรมนี้ยังสามารถใช้ออกแบบแมทชิ่งและหาค่าพารามิเตอร์แบบต่าง ๆ ได้อีกด้วย

โปรแกรมนี้สามารถใช้ได้บนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ขนาด 16 บิท IBM PC หรือ IBM PC crone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solve by Computer Aided Design for high frequency amplifier.

(S - CAD.)

Mr. SITTICHAI TATHIP

Miss DUANGKAE SANGSRI

Ass.Prof. Dr. KANOK JENJIRAPONGWECH

Mr. KIDDAKORN KLOMKARN

Advisor

1989

Abstract

Computer Aided Design : CAD for high frequency circuit is present in this thesis.

The solution of oscillation and maximum power transfer problem is objective of this CAD. Not only rapily and reduce errors of solution, In addition matching and parameter transfer are include.

This program operates on IBM PC/AT/XT or IBM crone.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ

Abstract

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 1.วงจรสองคู่สาย

1.1 บทนำ 4

1.2 การพิจารณาเกี่ยวกับพารามิเตอร์ในวงจรสองคู่สาย 6

1.3 การใช้แมทริคซ์แสดงคุณสมบัติของวงจรสองคู่สาย 8

1.3.1(ก) แอดมิตแตนซ์แมทริคซ์ 8

1.3.1(ข) ความหมายทางฟิสิกค์และวิธีการวัด 12

1.3.2(ก) อิมพีแดนซ์แมทริคซ์ 14

1.3.2(ข) ความหมายทางฟิสิกค์และวิธีการวัด 18

1.3.3(ก) Fundamental matrix 20

1.3.3(ข) ความหมายทางฟิสิกค์และวิธีการวัด 22

1.3.4(ก) S-matrix 25

1.3.4(ข) n-port network 28

1.3.4(ค) Normalized Scattering parameter 31

1.3.5(ก) ไฮบริดแมทริคซ์ 40

1.3.5(ข) การหาค่า H แมทริคซ์จาก Y,Z และ F แมทริคซ์ 42

1.3.5(ค) ความหมายทางฟิสิกค์และวิธีการวัด 44

1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแมทริคซ์แบบต่างๆ 47

2.การต่อระหว่างวงจรสองคู่สาย

2.1 บทนำ 49

2.2 การต่อแบบแคดเคด 50

3. การออกแบบวงจรอิมพีแดนซ์แมทชิ่ง

3.1 บทนำ 52

3.2 การแมทชิ่งวงจรรูปตัวแอล 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การแมทชิ่งคอมเพล็กโหลด 60
3.3.1 การใช้วงจรแมทชิ่งแบบใช้อุปกรณ์สามตัว 65
3.3.2 การใช้วงจรแมทชิ่งอิมพีแดนซ์แบบรูปตัวที 69
3.3.3 การออกแบบวงจรแมทชิ่งแบบค่า Q ต่ำ 73
4. Amplifier Design
-Powergain 76
-Operating powergain 78
บทที่ 3 โครงสร้างและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม S-cad.
-โครงสร้างของโปรแกรม S-cad. 90
- การทำงานของโปรแกรม S-cad. 91
บทที่ 4 การทดลองออกแบบ RF Amplifier,Matching ด้วย S-cad.
1.1 การออกแบบ RF Amplifier 1 state 96
1.2 การออกแบบ RF Amplifier 2 state 103
2 การออกแบบ Matching แบบต่างๆ 108
บทที่ 5 บทสรุป 113
ภาคผนวก
- คู่มือการใช้ S-CAD.1.00
- โปรแกรม S-CAD.ที่เขียนด้วยภาษาปาสคาล
- Files ต่างๆ ที่ต้องใช้ในโปรแกรม S-CAD.
กิตติกรรมประกาศ
หนังสืออ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

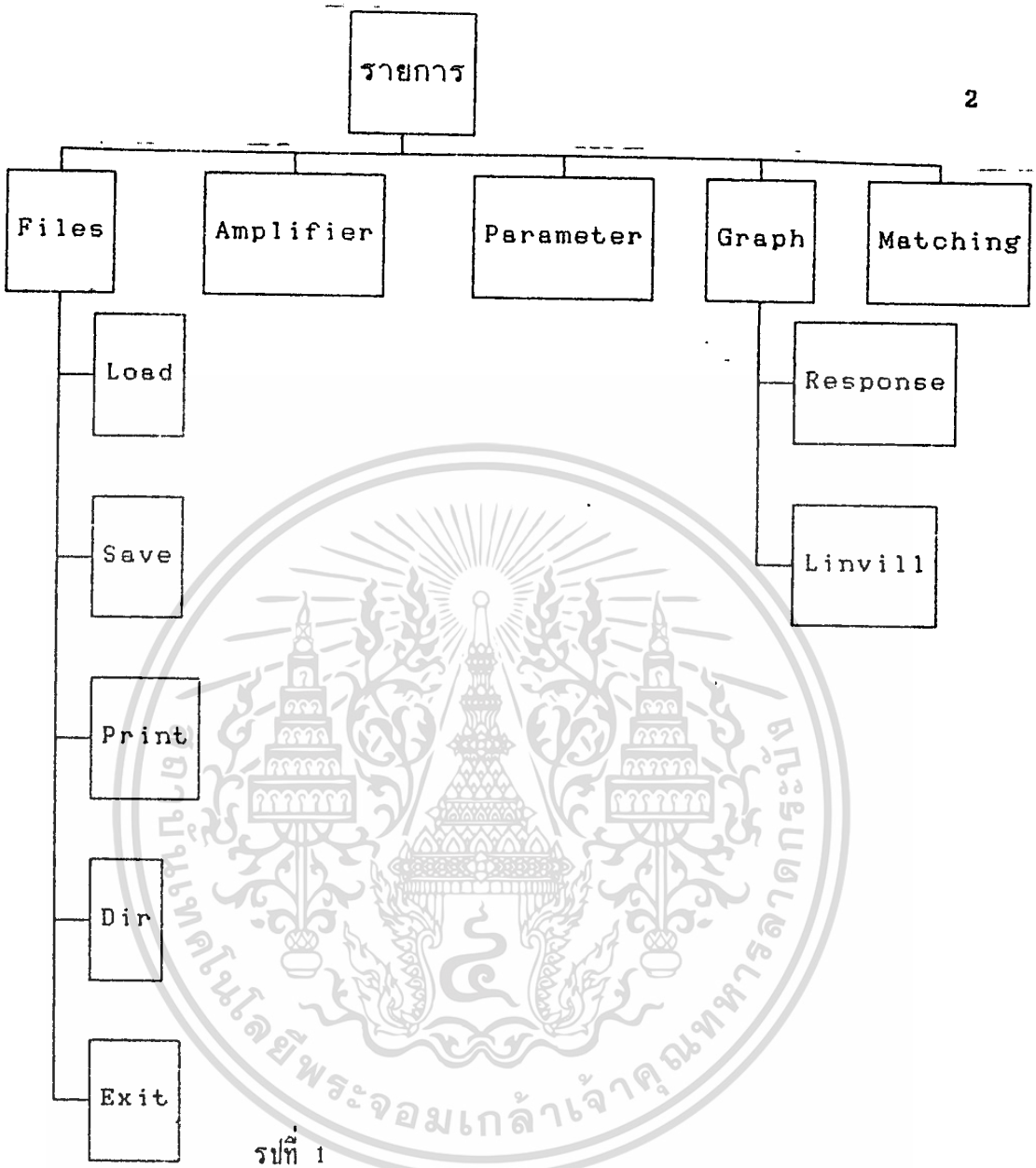
บทนำ

ในการออกแบบวงจรขยายความถี่สูง ส่วนมากมักจะมีปัญหาการทำงานของวงจร เช่น การออสซิเลท (oscillate) หรือว่าเสถียรภาพของวงจรไม่ดีพอและรวมถึงการส่งผ่านของสัญญาณจากวงจรไปยังโหลดมีค่าไม่สูงพอตามต้องการ ซึ่งปัญหาเหล่านี้มักเกิดจากการคำนวณวงจรที่ออกแบบผิดพลาด จึงทำให้วงจรเหล่านั้นเกิดปัญหาขึ้นโดยเฉพาะอุปกรณ์จำพวก Inductor และ Capacitor และการเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ในย่านความถี่ที่ต้องการรวมถึงระดับแรงดันและกระแสที่ป้อนให้กับทรานซิสเตอร์ ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบวงจรขยายทางด้านความถี่สูงมาก โดยค่าของคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ต้องพิจารณาจาก data sheet เป็นหลัก

และในการออกแบบวงจรขยายย่านความถี่สูงนี้ สิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาคือค่าแมทชิ่ง (matching) ซึ่งมีผลต่อค่าของการสะท้อนของคลื่นจากโหลดมายังวงจร ถ้าค่าอิมพิแดนซ์ของวงจรไม่แมทชิ่งกับโหลดแล้วจะเกิดการสะท้อนของคลื่นมากอาจมีผลทำให้วงจรเสียหายจากคลื่นสะท้อนนี้ได้ และยังเป็นสาเหตุของการส่งผ่านสัญญาณไปยังโหลดไม่พอตามต้องการ

เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ จึงมีการจัดทำปริญญานิพนธ์นี้ขึ้นมาเป็นโปรแกรมช่วยในการออกแบบหรือ S-CAD (Solve By Computer Aied Design) โดยโครงสร้างของโปรแกรมประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

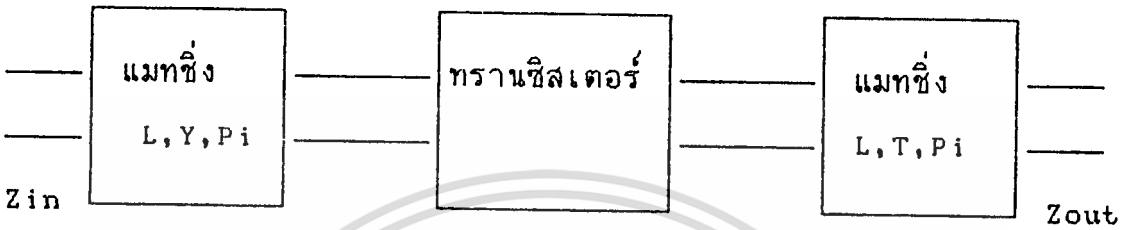
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1

ซึ่งในส่วนของโปรแกรม Amplifier จะพิจารณาตั้งแต่อิมพีแดนซ์ที่มาต่อที่อินพุทของวงจรจนถึงอิมพีแดนซ์ที่ต่อเอ้าท์พุทของวงจร เพื่อทำให้เกิดการแมทของวงจร โดยการนำแมทชิ่งมาพิจารณาในการออกแบบ แมทชิ่งที่นำมาใช้มี3 แบบคือ L, T, และ Pi และโปรแกรมยังสามารถ cascade วงจรเข้าด้วยกัน 2 ส่วนสามารถคำนวณหากำลังการขยายรวมของวงจรและแสดงผลตอบสนองได้ด้วยกราฟ log ดังรูปแสดงหลักการในการทำงานของโปรแกรม S-CAD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2

ซึ่งในการคำนวณนี้จะต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ที่ความถี่ของการใช้งาน แรงดันและกระแส ไบอัส ให้แก่ทรานซิสเตอร์ด้วย

นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถนำไปพิจารณาเฉพาะแมทชิ่งและเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตามงานที่ต้องการได้ ซึ่งจะทำให้เกิดความรวดเร็วมีความสะดวกต่อการใช้งานและสามารถบันทึกผลการออกแบบลงบนดิสเกต (diskette) ได้ด้วย

โปรแกรมนี้เขียนโดยใช้ภาษาปาสคาล ซึ่งเป็นภาษาพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ และง่ายต่อการเข้าใจ

ในการออกแบบวงจรขยายทางด้านความถี่สูงมีหลายแบบซึ่งในที่นี้จะกล่าวตั้งแต่วงจร 2 คู่สาย (two-port network) ในบทที่ 2 เป็นหลักการของวงจร 2 คู่สาย การเปลี่ยนพารามิเตอร์ของวงจร 2 คู่สายในแบบต่าง ๆ การนำวงจร 2 คู่สายมา cascade กัน การออกแบบแมทชิ่งในแบบต่าง ๆ (L, T, Pi) และการออกแบบวงจรขยายย่านความถี่สูง

บทที่ 3 กล่าวถึงโครงสร้างการทำงานของโปรแกรม S-CAD ในบทที่ 4 เป็นผลการทดลองโปรแกรมแบบต่าง ๆ ที่สามารถออกแบบได้ บทที่ 5 เป็นการสรุปข้อดีข้อเสียของโปรแกรมภาษาที่ใช้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

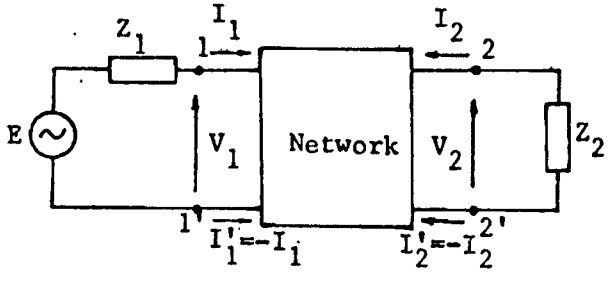
วงจร 2 สองคู่สาย

(Two-Terminal Pair Networks)

1.1 บทนำ

พิจารณาวงจรที่มีอนุภาค (element) เป็นเชิงเส้นและไม่เปลี่ยนแปลงต่อเวลา (Linear Time Invariant) จากรูป 1.1 ถ้าต่อสายจากสี่จุดของเนทเวอร์คหนึ่งออกมา แล้วแยกไว้ข้างละ 2 ขั้วและใช้ 4 ขั้วนี้ให้วงจรทำงานในวิธีการต่าง ๆ กัน เราเรียกวงจรนี้ว่า วงจร 2 คู่สาย (Two-terminal pair network, Four-terminal network หรือ Two-ports)

รูปที่ 1.1 วงจร 4 ขั้ว



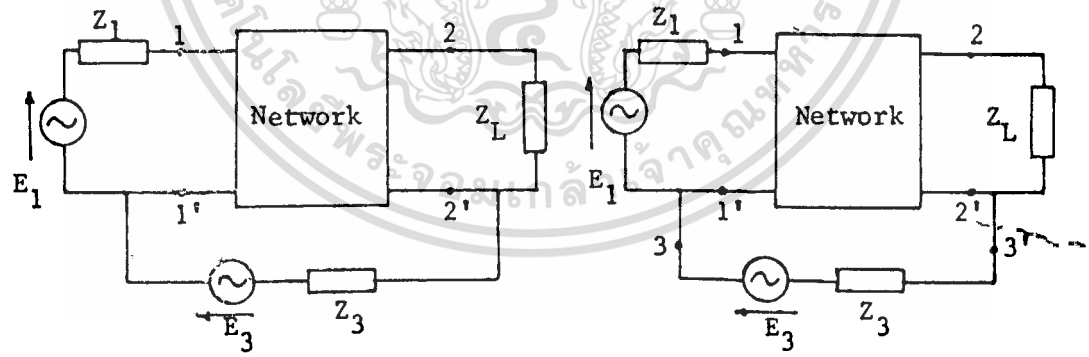
รูปที่ 1.2 วงจร 2 คู่สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนมากใช้คู่หนึ่งต่อเข้ากับต้นกำหนดไฟฟ้า ตามรูป 1.2 คือขั้ว 1-1' ซึ่งเรียกว่าอินพุท (Input) อีกคู่หนึ่ง (2-2) ต่อเข้ากับโหลดเรียกว่าเอาท์พุท (Output) เมื่อใช้วงจรในหลักการดังนี้แล้ว สัญญาณจากขั้ว 1-1' จะไหลผ่านเนทเวอร์คแล้วออกมาทางด้าน 2-2' ซึ่งกรณีนี้กระแสที่ไหลจากขั้ว 1 ไปทางเนทเวอร์คและออกจากเนทเวอร์คมาทางขั้ว 1' จะเท่ากัน สำหรับทางด้านเอาท์พุทก็เช่นเดียวกัน ตามรูปคือ $I_1' = I_1$, $I_2' = I_2$

ถ้ามีเนทเวอร์คหนึ่งที่มี 4 ขั้ว จะเรียกว่าวงจรสองคู่สายได้หรือไม่ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับต้นกำหนดไฟฟ้าและโหลดที่นำไปต่อ ว่าจะอยู่ในลักษณะใดดังตัวอย่างในรูป 1.3 (ก) ในกรณีต้องเพิ่มขั้วเข้าไปอีก 2 ขั้วคือ 3-3' และเรียกเนทเวอร์คนี้ว่าวงจร 3 คู่สาย (ดังแสดงในรูป 1.3 ข)

จากรูป 1.1 ถึงแม้ว่าในเนทเวอร์คนั้น จะประกอบด้วยวงจรอะไรก็ตาม จากการวัดเราก็สามารถจะทราบได้ และหาความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุท (V_1, I_1) กับทางด้านเอาท์พุท (V_2, I_2) หรือในทางตรงกันข้าม เราก็สามารถจะคำนวณได้โดยไม่มีปัญหาอะไร



(ก) (ข)

รูปที่ 1.3 วงจร 3 คู่สาย

แต่ในกรณีเช่น ในการส่งสัญญาณต่าง ๆ ที่ต้องการให้ความสัมพันธ์ของศักดาไฟฟ้า หรือกระแสระหว่างอินพุทกับเอาท์พุทเป็นอย่างใดอย่างหนึ่ง ก็มีความจำเป็นที่จะต้องทราบว่าเนทเวอร์คนั้นเป็นอะไร จึงเป็นการยุ่งยากที่จะต้องคำนวณโดยอาศัย parameter ต่าง ๆ

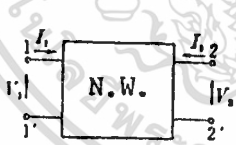
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

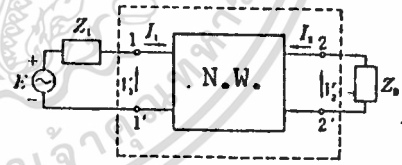
1.2 การพิจารณาเกี่ยวกับพารามิเตอร์ในวงจร 2 คู่สาย

สมมติว่าเนทเวอร์คตามรูป 1.4 ซึ่งเราต้องการจะทราบคุณสมบัติของมันว่า จะป้อนอะไรเข้าไปแล้วอะไรจะออกมา จะทำอย่างไรจึงจะดี ซึ่งขณะนี้ไม่ทราบว่าข้างในของเนทเวอร์คนี้ประกอบด้วยวงจรอย่างไร ซึ่งเรียกว่า black box เราเพียงแต่พิจารณาศักดาและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วทั้ง 2 คู่ของมันเท่านั้น

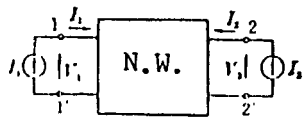
สมมติว่ามีศักดาและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วต่าง ๆ ตามรูป 1.4 มันจะเกิดขึ้นได้อย่างไรนั้นในตอนนี้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณา กล่าวคือถ้าใช้วงจรนี้แล้วเกิดศักดาและกระแสไฟฟ้าขึ้นตามที่แสดงไว้ ในรูป 1.5 เราเพียงแต่พิจารราส่วนของวงจรที่อยู่ในเส้นประก็พอและถ้าในระหว่างขั้วไม่ได้กำหนดเงื่อนไขพิเศษ (ลัดวงจรหรือเปิดวงจร) เช่นถ้าต่อต้นกำเนิดไฟฟ้า V_1 และ V_2 ดังรูป 1.6 เราก็คิดได้ว่าที่ขั้วทั้งสองคู่ของวงจรก็ยังมีศักดาไฟฟ้าเป็น V_1 และ V_2 คือไม่เปลี่ยนแปลงและตามรูป 1.7 กรณีที่ป้อนด้วยต้นกำเนิดกระแสคงที่ (constant current source) จากทฤษฎีที่จะกล่าวต่อไปก็จะทราบว่าศักดาและกระแสไฟฟ้าที่ขั้วนั้นจะไม่มีความสัมพันธ์กันเลย



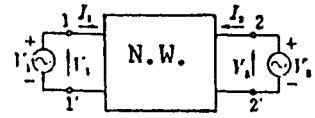
รูปที่ 1.4



รูปที่ 1.5



รูปที่ 1.6



รูปที่ 1.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าเมื่อเราพิจารณาวงจร 2 คู่สายนั้น จะมีศักดาและกระแสไฟฟ้า V_1, V_2, I_1 และ I_2 โดยที่ถ้าเราหาค่าของ2 ตัวใด ๆ จาก 2 ตัวอื่น ๆ ที่กำหนดให้ได้ ก็สามารถจะทราบได้ว่าเมื่ออะไรเข้าไปในวงจร และก็อะไรจะออกมา อย่างไรก็ดีเราก็สามารถจะแสดงความสัมพันธ์ของมันเหล่านี้ให้อยู่ในรูปของสมการได้ กล่าวคือในกรณีที่เป็นวงจร 2 คู่สายแล้ว ดังได้กล่าวมาแล้วว่ามีพารามิเตอร์ 4 ตัวคือ V_1, V_2, I_1 และ I_2 ในการสร้างสมการเหล่านี้เราเลือก 2 จาก 4 ($4C_2 = 6$) ก็จะได้สมการต่าง ๆ 6 กลุ่มดังนี้

1. หาค่า I_1, I_2 จาก V_1, V_2

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 \\ I_2 &= Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 \end{aligned}\right\} \quad 1.1$$

2. หาค่า V_1, V_2 จาก I_1, I_2

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \\ V_2 &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \end{aligned}\right\} \quad 1.2$$

3. หาค่า V_1, I_1 จาก V_2, I_2

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= AV_2 - BI_2 \\ I_1 &= CV_2 - DI_2 \end{aligned}\right\} \quad 1.3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หาค่า V_2, I_2 จาก V_1, I_1

$$\left.\begin{aligned} V_2 &= A'V_1 - B'I_1 \\ I_2 &= C'V_1 - D'I_1 \end{aligned}\right\} \quad 1.4$$

5. หาค่า V_1, I_2 จาก I_1, V_2

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= H_{11}I_1 + H_{12}V_2 \\ I_2 &= H_{21}I_1 + H_{22}V_2 \end{aligned}\right\} \quad 1.5$$

6. หาค่า I_1, V_2 จาก V_1, I_2

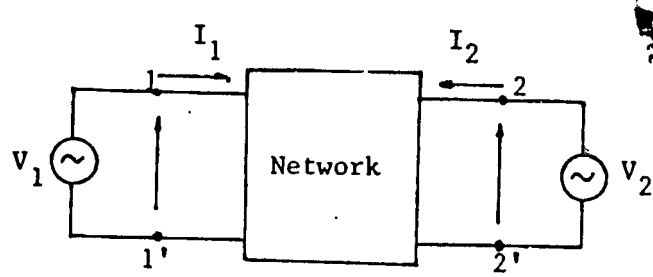
$$\left.\begin{aligned} I_1 &= G_{11}V_1 + G_{12}I_2 \\ V_2 &= G_{21}V_1 + G_{22}I_2 \end{aligned}\right\} \quad 1.6$$

จะเห็นได้ว่าเพียงแต่ทำการวัดศักดาและกระแสไฟฟ้าจากขั้วของวงจรเท่านั้นก็จะเข้าใจว่า Black box นั้นเป็นอย่างไร และทำทราบโครงสร้างของวงจรแล้วก็สามารถหาค่าคงที่ต่าง ๆ ได้ซึ่งจะทำให้ทราบคุณสมบัติของวงจรได้ระเอียดขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นถ้าทราบสมการหนึ่งสมการใดจาก 6 สมการข้างต้นแล้วก็สามารถจะเปลี่ยนให้เป็นสมการอื่น ๆได้หมด ซึ่งการใช้สมการใดกับวงจรนั้นขึ้นอยู่กับโอกาสหรือความชำนาญในการใช้ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้ว สมการเหล่านี้จะแสดงในรูปของ Matrices ให้ละเอียดขึ้นตามลำดับต่อไปนี้

1.3 การใช้แมทริคซ์แสดงคุณสมบัติของวงจร 2 คู่สาย

1.3.1 (ก) แอดมิตแตนซ์แมทริคซ์ (Admittance Matrix)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.8 วงจร 2 คู่สาย ที่ส่งด้วยต้นกำหนดศักดาคงที่สองด้าน

จากรูป 1.8 ให้ V_1 และ V_2 เป็นต้นกำหนดศักดาไฟฟ้าคงที่ซึ่งต่ออยู่กับเนทเวอร์คทั้งสองด้าน และคำนวณหากระแส I_1, I_2 ได้โดยใช้สมการของการวิเคราะห์ลูป (Loop Analysis) หรือทฤษฎีของ Superposition แต่ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะลูปเท่านั้น จากรูป 1.8 ให้ลูปที่ประกอบด้วย V_1 เป็นลูป 1 และประกอบด้วย V_2 เป็นลูป 2 และภายในเนทเวอร์คทั้งหมดสมมติว่าประกอบด้วย m ลูปซึ่งเป็นอิสระกัน และลูปเหล่านี้ไม่มีต้นกำเนิดใด ๆ รวมอยู่ด้วยทั้งสิ้น (แต่อาจมีนวกทราบซิสเตอร์รวมอยู่ด้วยก็ได้)

จากหลักการของการวิเคราะห์ทางวงจรโดยใช้วิธีลูปจะได้

$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1m} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{22} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \cdots & Z_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \qquad 1.7$$

ซึ่งสามารถเขียนเป็นแมทริคซ์ได้ดังนี้

$$[Z][I] = [V] \qquad 1.8$$

ในที่นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
026887

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1m} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{1m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \cdots & Z_{mm} \end{bmatrix} , [I] = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_m \end{bmatrix}$$

$$[V] = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \qquad \Bigg\} \quad 1.9$$

ขณะนี้วงจรที่พิจารณาอยู่เป็น linear time invarriant และเราต้องการหาค่าของกระแส I_1 และ I_2 ดังนั้นจากการใช้กฎของเครเมอร์ (Cramer) จะได้กระแสดังนี้

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= \frac{\Delta 11}{\Delta} V_1 + \frac{\Delta 21}{\Delta} V_2 \\ I_2 &= \frac{\Delta 12}{\Delta} V_2 + \frac{\Delta 22}{\Delta} V_2 \end{aligned}\right\} \quad 1.10$$

ซึ่ง

Δ : เป็นดีเทอมิแนนท์ของอิมพีแดนซ์แมทริคซ์ในลูป

Δ_{ij} : เป็น Co-factor ของ Z_{ij} ของ Δ

$_{ij}$ เป็นอิมพีแดนซ์ Z_{ij} คูณอยู่ด้วยกันจำนวณ m-1 ตัว ดังนั้นอิมพีแดนซ์จะมีกำลังเป็น m-1 แต่ว่า เป็นผลคูณของอิมพีแดนซ์ m ตัวจึงมีกำลังเป็น m จะเห็นได้ว่า Δ_{ij} / Δ จะมีหน่วยเป็นแอดมิตแตนซ์ ดังนั้นถ้าเขียนสมการ 1.10 ใหม่ในเทอมของแอดมิตแตนซ์จะได้

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 \\ I_2 &= Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 \end{aligned}\right\} \quad 1.11$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง

$$Y_{11} = \Delta_{11} / \Delta \quad , \quad Y_{12} = \Delta_{21} / \Delta$$

$$Y_{21} = \Delta_{12} / \Delta \quad , \quad Y_{22} = \Delta_{22} / \Delta$$

สมการ1.11นี้จะเหมือนกับสมการ 1.1 ทุกประการ และเมื่อเปลี่ยนให้เป็นรูปของแมทริคซ์จะได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \qquad 1.12\ (ก)$$

หรือ

$$[I] = [Y][V] \qquad 1.12(ข)$$

ในที่นี้

$$[I] = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}, [Y] = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix}, [V] = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \qquad 1.12(ค)$$

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่า เมื่อทราบค่าของ Y_{11}, Y_{12}, Y_{21} และ Y_{22} แล้วก็จะทราบคุณสมบัติของวงจรได้ แต่ว่า Y_{ij} นี้ก็คำนวณได้จาก Δ_{ij} / Δ กรณีที่ทราบว่าวงจรเป็นอย่างไรเท่านั้น แต่ว่าในที่นี้เราไม่ทราบว่าวงจรข้างในเป็นอย่างไร ถ้าไม่มีการวัดศักดาและกระแสทางขั้วทั้งหมดก็จะไม่มีความหมายใดกับค่าของ Y_{ij} ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นับว่าเป็นโอกาสดีที่เราสามารถที่จะทราบค่าของมันได้โดยการวัดดังจะกล่าวต่อไป

1.3.1(ข) ความหมายทางฟิสิคซ์และวิธีการวัด

ต่อไปจะพิจารณาความหมายทางฟิสิคซ์ของ Y_{ij}

1) ความหมายของ Y_{11}

ลัดวงจรทางขั้ว 2-2' นั่นคือ $V_2 = 0$

จากสมการแรกของสมการ 1.11 ได้

$$I_1 = Y_{11} V_1$$

นั่นคือ

$$Y_{11} = \left.\frac{I_1}{V_1}\right|_{V_2 = 0} \qquad 1.13$$

ดังนั้น Y_{11} คือแอดมิตแตนซ์ที่มองจากขั้ว 1-1' ไปยังเนทเวอร์คในขณะที่ขั้ว 2-2' ลัดวงจร ถ้าทราบว่าภายในเป็นอย่างไรแล้วก็สามารถจะคำนวณได้โดยหลักการอันนี้ ด้วยเหตุผลนี้จึงเรียก Y_{11} นี้ว่า short cricuit driving-point admittance

2) ความหมายของ Y_{12}

ลองลัดวงจรทางขั้ว 1-1' นั่นคือให้ $V_1 = 0$

จากสมการ 1.11 จะได้

$$I_1 = Y_{12} V_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นคือ

$$Y_{12} = \left.\frac{I_1}{V_2}\right|_{V_1 = 0} \qquad 1.14$$

ดังนั้น Y_{12} คืออัตราส่วนระหว่างกระแส I_1 และศักดา V_2 ซึ่งอาจคิดได้ว่าเป็นการแสดงความสามารถในการส่งสัญญาณในทางตรงกันข้ามของวงจรนี้ เพราะตามปกติการส่งสัญญาณนั้นเราใช้ส่งจากขั้ว 1-1' และรับที่ 2-2' เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวจึงเรียก Y_{12} นี้ว่า (backward) short circuit transfer admittance

3) ความหมายของ Y_{21}

เมื่อให้ $V_2 = 0$ จากสมการ 1.11 จะได้

$$Y_{21} = \left.\frac{I_2}{V_1}\right|_{V_2 = 0} \qquad 1.15$$

เมื่อป้อนศักดาไฟฟ้า V_1 ให้ขั้ว 1-1' แล้วเป็นปริมาณที่บอกให้รู้ว่าทางเอาท์พุท I_2 ที่ได้รับจะมีผลอย่างไร ดังนั้นจึงเรียก Y_{21} นี้ว่า (forward) short circuit transfer admittance และให้พึงระวังว่าทิศทางของการส่งสัญญาณและตัวเลขห้อยท้ายจะกลับกัน

4) ความหมายของ Y_{22}

เมื่อให้ $V_1 = 0$ แล้ว

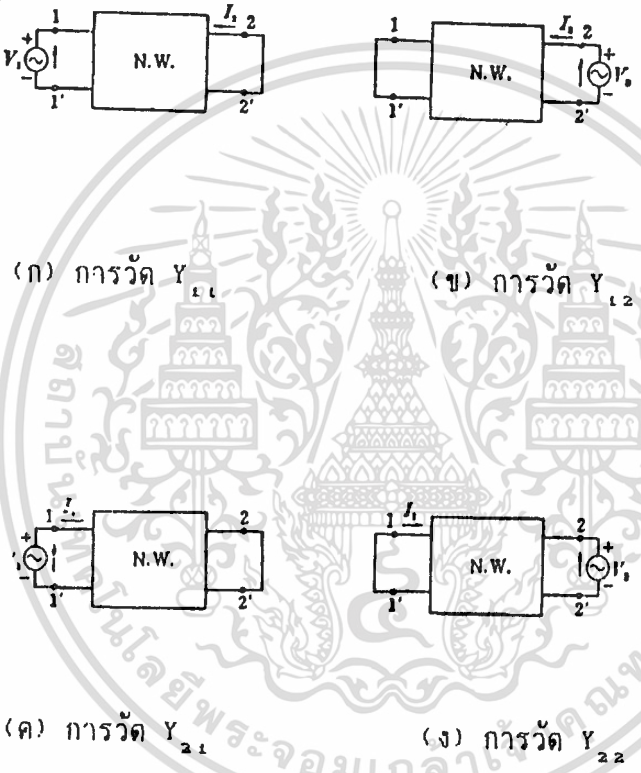
Y_{22} ก็เป็นแอดมิตแตนซ์ที่มองจาก 2-2' มาทางเนทเวอร์คขณะที่ลัดวงจรทางขั้ว 1-1' จึงเรียกชื่อเช่นเดียวกับ Y_{11}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_{22} = \left.\frac{I_2}{V_2}\right|_{V_1 = 0} \qquad 1.16$$

จากข้างต้นจะเห็นได้ว่าแอดมิตแตนซ์ทุกตัวเป็นปริมาณที่วัดหรือคำนวณได้จากเงื่อนไขที่ทางด้านตรงข้ามลัดวงจรทั้งหมดจึงเรียกว่า short circuit admittance matrix หรือ Y-matrix และอนุภาคทุกตัวของแมทริคซ์ Y รวมเรียกว่า Y parameter

อนึ่งวงจรที่ใช้ในการวัดแสดงไว้ในรูป 1.9

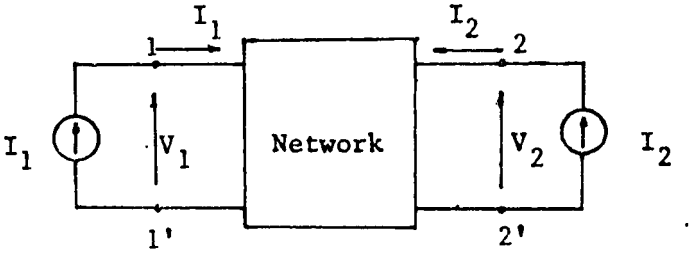


(ก) การวัด Y_{11} (ข) การวัด Y_{12}

(ค) การวัด Y_{21} (ง) การวัด Y_{22}

รูปที่ 1.9 การวัด Y พารามิเตอร์

1.3.2(ก) อิมพีแดนซ์แมทริคซ์ (Impedance Matrix)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.10 วงจร 2 คู่สายที่ส่งด้วยต้นกำหนดกระแสคงที่ทั้งสองด้าน

จากรูป 1.10 ให้ขั้ว 1 และ ขั้ว 2 เป็นขั้วอิสระ และภายในเนทเวอร์ทั้งหมดสมมติว่ามี n ขั้ว (nodes) และมีศักดาไฟฟ้าเป็น V_1, V_2, V_3 ....., V_n จากการสร้างสมการที่ขั้วต่าง ๆ ของกระแสจะได้

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \qquad 1.18$$

ซึ่งจะเขียนเป็นแมทริคซ์ได้ดังนี้

$$[Y][V] = [I] \qquad 1.19$$

ในที่นี้

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ & & & \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix}, \quad [V] = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \\ V_n \end{bmatrix}, \quad |I| = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ 0 \\ \\ 0 \end{bmatrix} \qquad 1.20$$

เมื่อคำนวณหาค่าของ V_1 และ V_2 จะได้

$$V_1 = \frac{\Delta 11}{\Delta} I_1 + \frac{\Delta 21}{\Delta} I_2$$

$$V_2 = \frac{\Delta 12}{\Delta} I_1 + \frac{\Delta 22}{\Delta} I_2 \qquad 1.21$$

Δ : เป็นดีเทอร์มิแนนท์ของนอดมิตแตนซ์แมทริคซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Δ_{ij} : เป็น Co-factor ของ Y_{ij} ของ Δ

อาศัยการพิจารณาทำนองเดียวกันกับเรื่องแอดมิตแตนซ์แมทริคซ์จะเข้าใจได้ว่า Δ_{ij}/Δ จะมีขนาดเป็นอิมพีแดนซ์ เมื่อให้ $\Delta_{ij}/\Delta = Z_{ij}$ แล้วจะได้

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \\ V_2 &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \end{aligned}\right\} \qquad 1.22$$

สมการ 1.22 จะเหมือนกับสมการ 1.2 ทุกประการ และเมื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของแมทริคซ์จะได้

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \qquad 1.23(ก)$$

หรือ

$$[V] = [Z][I]$$

ต่อไปลองพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแมทริคซ์ Y และ Z ดู

ถ้าดีเทอมิแนนซ์ $|Y| = Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21} \neq 0$ แล้วใช้อินเวอร์สแมทริคซ์(inverse matrix)

$$[Y]^{-1} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix}^{-1}$$

คูณจากทางซ้ายเข้ากับสมการ 1.12(ก) ทั้งสองข้างจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} Y_{22}/|Y| & -Y_{12}/|Y| \\ -Y_{21}/|Y| & Y_{11}/|Y| \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \qquad 1.24(ก)$$

นั่นคือแมทริคซ์ (Y) และ (Z) เป็นอินเวอร์สแมทริคซ์ซึ่งกันและกัน

ดังนั้น $|Z| = 1/|Y|$ แต่ต้องระวังว่า $Z_{ij} <> 1/Y_{ij}$ เมื่อสรุปความสัมพันธ์ระหว่างแมทริคซ์ทั้งสองจะได้ดังนี้

$$Z_{11} = Y_{22}/|Y| \quad , \quad Z_{12} = -Y_{12}/|Y|$$

$$Z_{21} = -Y_{21}/|Y| \quad , \quad Z_{22} = Y_{11}/|Y| \qquad 1.24(ข)$$

จากนี้จะได้

$$|Y| = Y_{22}/Z_{11} = Y_{11}/Z_{22} \qquad 1.25$$

ดังนั้น

$$Z_{11}/Z_{22} = Y_{22}/Y_{11} \qquad 1.26$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2(ข) ความหมายทางฟิสิคซ์และวิธีการวัด

1) ความหมายของ Z_{11}

เมื่อเปิดวงจรทางขั้ว 2-2′ ให้ $I_2 = 0$ สมการที่ 1 ของสมการ 1.22 จะได้

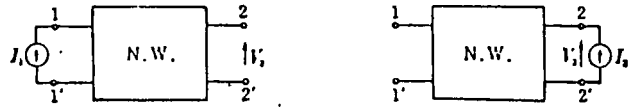
$$V_1 = Z_{11} I_2$$

หรือ

$$Z_{11} = \left.\frac{V_1}{I_1}\right|_{I_2 = 0} \qquad 1.27$$

นั่นคือ Z_{11} เป็นอิมพีแดนซ์ที่มองจากขั้ว 1-1′ ไปทางเนทเวอร์คในขณะที่เปิดวงจรทางขั้ว 2-2′ ถ้าทราบวงจรภายในแล้วสามารถจะวัดหาคุณสมบัติทางความถี่ได้ และก็สามารถจะคำนวณได้เช่นเดียวกัน Z_{11} นี้ถูกเรียกว่า open cricuit driving-point impedance สำหรับการวัดแสดงไว้ในรูป 1.11 (ก)

(ก) การวัด Z_{11} (ข) การวัด Z_{12}



(ค) การวัด Z_{21} (ง) การวัด Z_{22}

รูปที่ 1.11 การวัด Z parameter

2) ความหมายของ Z_{12}

เมื่อเปิดวงจรทางขั้ว 1-1′ ให้ $I_1 = 0$ จ้างจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_1 = Z_{12} I_2$$

หรือ
$$Z_{12} = \left.\frac{V_1}{I_2}\right|_{I_1 = 0} \qquad 1.28$$

นั่นคือ Z_{12} เป็นอิมพีแดนซ์ที่บอกปริมาณของสัญญาณจากขั้ว 2-2′ ไปยัง 1-1′ (ทางตรงกันข้าม) ว่าเมื่อเปิดวงจรทางขั้ว 1-1′ แล้วในขณะที่มี I_2 ไหลอยู่จะมีศักดาไฟฟ้าที่ขั้ว 1-1′ สักเท่าไหร่ จึงเรียก Z_{12} นี้ว่า (backward) open cricuit transfer impedance สำหรับการวัดแสดงไว้ในรูป 1.11(ข)

3) ความหมายของ Z_{21}

เมื่อเปิดวงจรทางขั้ว 2-2′ ได้ $I_2 = 0$ สมการที่ 2 ของสมการ 1.22 จะได้

$$V_2 = Z_{21} I_1$$

หรือ
$$Z_{21} = \left.\frac{V_2}{I_1}\right|_{I_2 = 0} \qquad 1.29$$

นั่นคือ Z_{21} เป็นอิมพีแดนซ์ที่บอกให้ทราบว่าเมื่อเปิดวงจรทาง 2-2′ แล้วขณะที่มีกระแส I_1 ไหลอยู่ จะมีศักดาไฟฟ้าที่ขั้ว 2-2′ เท่าไร จึงเรียกอิมพีแดนซ์นี้ว่า (forward) open circuit transferimpedance สำหรับการวัดแสดงไว้ในรูป 1.11(ค)

4) ความหมายของ Z_{22}

เมื่อเปิดวงจรทางขั้ว 1-1′ ให้ $I_1 = 0$ แล้วจะได้

$$V_2 = Z_{22} I_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ $$Z_{22} = \left.\frac{V_2}{I_2}\right|_{I_1 = 0} \qquad 1.30$$

นั่นคือ Z_{22} เป็นอิมพีแดนซ์ที่มองจากขั้ว 2-2′ ไปยังเนทเวอร์ค ในขณะที่เปิดวงจรทางขั้ว1-1′ จึงเรียกว่า open cricuit driving-point impedance การวัดแสดงไว้ในรูป 1.11 (ง)

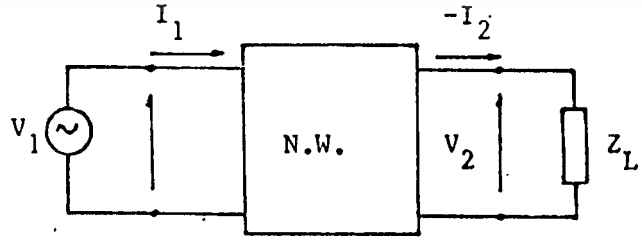
จากที่ได้กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่า อิมพีแดนซ์ทุกตัวเป็นปริมาณที่วัดหรือคำนวณได้จากเงื่อนไขที่ทางด้านตรงข้ามเปิดวงจรทั้งหมดจึงเรียกว่า open cricuit impedance matrix หรือ Z-matrix สำหรับอนุภาคทุกตัวของแมทริคซ์ Z รวมเรียกว่า Zparameter และถ้าเป็น natural network แล้วแอดมิตแดนซ์แมทริคซ์ (Y) จากสมการ 1.18 จะเป็นสมมาตรกันคือ

$$\Delta_{12} = \Delta_{21} \qquad 1.31$$

ดังนั้นจากสมการ 1.21 จะได้

$$Z_{12} = Z_{21} \qquad 1.32$$

1.3.3 (ก) Fundamental Matrix (F-Matrix)



รูปที่ 1.12 วงจร 2 คู่สาย ที่ส่งด้วยต้นกำเนิดศักดาด้านเดียว

ในขณะที่ใช้ขั้ว 1-1′ เป็นอินพุท และใช้ขั้ว 2-2′ เป็นเอ้าท์พุทเพื่อสะดวกในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขั้วทั้งสอง เราตั้งสมการโดยแยกศักดาไฟฟ้าไว้สมการหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และไว้อีกสมการหนึ่ง ดังนั้นสมการ 1.22 ถ้าคำนวณหาค่าของ V_1, I_1 จะได้

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= AV_2 - BI_2 \\ I_1 &= CV_2 - DI_2 \end{aligned}\right\} \qquad 1.33$$

ในที่นี้

$$\left.\begin{aligned} A &= Z_{11}/Z_{21}, \quad B = |Z|/Z_{21} \\ C &= 1/Z_{21}, \quad D = Z_{22}/Z_{21} \end{aligned}\right\} \qquad 1.34$$

หรืออาจจะเขียนเป็นแมทริคซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} \qquad 1.35$$

เนื่องจากทางด้าน 2-2′ เป็นโหลดดังนั้น I_2 จึงมีทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสของ Z และ Y แมทริคซ์ ดังนั้น I_2 จึงมีเครื่องหมายติดลบ เราเรียกแมทริคซ์นี้ว่า Fundamental matrix,F-matrix,transmission matrix,Chain matrix, ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$[F] = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \qquad 1.36$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับค่า A, B, C, D นั้น เรียกรวมกันว่า Four-constants ของวงจรสองคู่สาย

ดังนั้นถ้าเราทราบค่าของ F-matrix แล้วการคำนวณต่าง ๆ จะสะดวกมากจึงนับว่าแมทริคซ์สำคัญมากในการวิเคราะห์ และสังเคราะห์ทางวงจร

1.3.3(ข) ความหมายทางฟิสิคซ์และวิธีการวัด

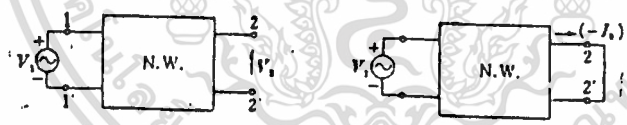
1) ความหมายของ A

จากสมการ 1.33 เมื่อเปิดวงจรทาง 2-2′ คือให้ $I_2 = 0$ จะได้

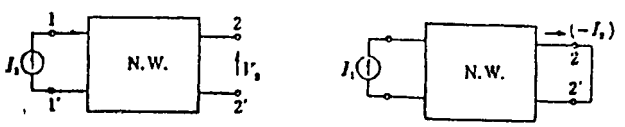
$$V_1 = AV_2$$

หรือ

$$A = \left.\frac{V_1}{V_2}\right|_{I_2 = 0} \qquad 1.37$$



(ก) การวัด A (ข) การวัด B



(ค) การวัด C (ง) การวัด D

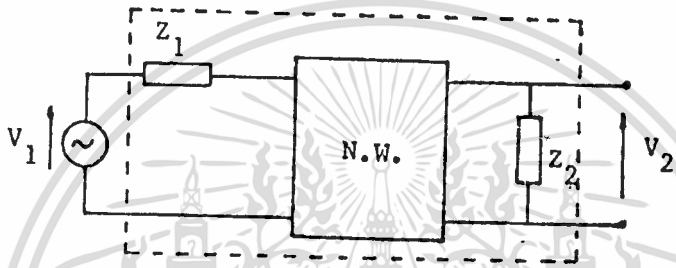
รูปที่ 1.13 การวัดตัวคงที่ A, B, C, D

กล่าวคือ จากรูป 1.13(ก) เมื่อเปิดวงจรทางเอ้าท์พุทขณะที่ป้อน V_1 เข้าที่ 1-1′ เมื่อวัดศักดาไฟฟ้าที่ขั้ว 2-2′ แล้ว A คือค่าอัตราส่วนระหว่าง V_1 / V_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงเรียกว่า open cricuit reverse voltage ratio ถ้าใช้หลักการนี้จะคำนวณหา Gain ของวงจรได้ง่าย ๆ กล่าวคือ เมื่อมีวงจรตามรูป 1.14 เมื่อคำนวณหา F แมทริคซ์แล้วจะได้ Gain ของศักดาไฟฟ้า คือ

$$V_2/V_1 = 1/A \qquad 1.38$$



รูปที่ 1.14

2) ความหมายของ B

จากสมการ 1.33 เมื่อลัดวงจร 2-2´ คือให้ $V_2 = 0$ แล้วจะได้

$$V_1 = B(-I_2)$$

หรือ

$$B = \left.\frac{V_1}{-I_2}\right|_{V_2 = 0} \qquad 1.39$$

ตามที่แสดงไว้ในรูป 1.13 (ข) เมื่อลัดวงจรทาง 2-2´ ในขณะที่ป้อน V_1 ให้กับ 1-1´ เมื่อวัดค่าของกระแสที่ไหลใน 2-2´ $(-I_2)$ แล้ว B จะเป็นอัตราส่วนระหว่าง V_1 และ $(-I_2)$ ซึ่งบอกให้ทราบว่าอินพุท V_1 จะทำให้เกิดเอ้าท์พุท $(-I_2)$ ได้สักเท่าไร นั่นคือแสดงความสามารถในการส่งสัญญาณของวงจรจึงเรียกว่า short

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

circuit transfer impedance

3) ความหมายของ C

จากสมการ 1.33 เมื่อลัดวงจรทาง 2-2′ คือให้ $I_2 = 0$ แล้วจะได้

$$I_1 = CV_2$$

หรือ

$$C = \left.\frac{I_1}{V_2}\right|_{I_2 = 0} \qquad 1.40$$

ตามที่ได้แสดงไว้ในรูป 1.13(ค) เป็นการบอกให้ทราบว่าเมื่อเปิดวงจรทาง 2-2′ แล้วขณะที่ป้อน I_1 เข้ากับ 1-1′ จะมีศักดาไฟฟ้า V_2 ที่ 2-2′ สักเท่าไร เราเรียก C นี้ว่า open circuit transfer admittance

4) ความหมายของ D

จากสมการ 1.33 เมื่อลัดวงจรทาง 2-2′ คือให้ $V_2 = 0$ แล้วจะได้

$$I_1 = D(-I_2)$$

หรือ

$$D = \left.\frac{I_1}{-I_2}\right|_{V_2 = 0} \qquad 1.41$$

จากรูป 1.13(ง) ก็จะเข้าใจได้ในทำนองเดียวกันกับกรณีของการหาค่าของ A แต่ในที่นี้เรียกว่า short circuit reverse current ratio

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วจากข้างต้นว่า สามารถจะวัดหาค่าของ Four constans ของวงจร 2 คู่สายโดยที่เป็น black box ได้ และถ้าทราบว่าข้างในมีวงจรเป็นอย่างไรแล้วก็สามารถจะคำนวณได้เช่นกัน และในขณะที่วัด Four constans นั้น ใช้อินพุทเป็น V_1 หรือไม่ก็ I_1 และเอ้าท์พุทเป็น V_2 หรือไม่ก็ I_2 นี้ก็เป็นเหตุผลที่เรียกว่า transmission matrix ดังกล่าว สำหรับกรณีเช่นนี้ ใน Y ,Z พารามิเตอร์นั้นมีคุณสมบัติไม่แน่ชัด

ดังนั้นกรณีที่แน่ชัดว่าสัญญาณเข้าที่ 1-1′ และออกทาง 2-2′ เป็นทิศทางตรงนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F matrix จะมีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยม แต่ไม่ว่าอุปกรณ์ใด ๆ ก็ตามก็ไม่สามารถจะวัดหา F matrix ได้อย่างมีประสิทธิภาพดีพร้อม ๆ กันทั้งหมดได้

1.3.4(ก)S matrix (Scattering Matrix)

Scattering เป็นตัวทำให้เห็นตัวการในการแยกบางอย่างที่มีองค์ประกอบแตกต่างกันและScattering parameter เป็นตัวจัดหาในการวัดองศา และแอมปลิจูดขององค์ประกอบที่แตกต่างกัน S-parameter ส่วนมากจะใช้ในย่านความถี่สูง ๆ เช่น microwave ซึ่ง H, Y และZ parameter ไม่สามารถใช้วัดได้ ทั้งนี้เพราะว่า

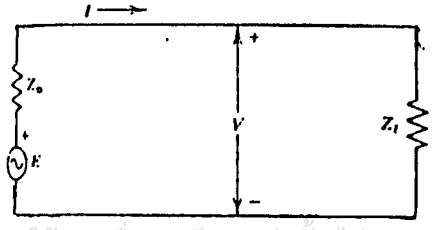
1. อุปกรณ์ไม่สามารถวัดค่าผลรวมของ voltage และกระแสที่ port ของ networkได้

2. การ short และ open วงจรทำได้ยากมากในความถี่ย่าน broad-band

3. อุปกรณ์พวก active เช่น power transister และ tunnel diodes จะไม่ stable เมื่อมีการ short หรือ open วงจร

ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านั้นสามารถที่จะแก้ไขได้โดยใช้ทฤษฎี S-parameter 1.3.4(ก) ตามหลักแล้ว S-parameter จะอธิบายได้ดีที่สุดโดยพิจารณาจาก one-port network ในรูปที่ 1.15 โดยกระแสและ voltage ที่แท้จริงคือ

$$I = \frac{E}{Z_o + Z_L} \qquad 1.42$$



รูปที่ 1.15 one port network

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$V = \frac{EZ_L}{Z_o+Z_L} \qquad 1.43$$

เมื่อ Z_o คือค่าอิมพิแดนซ์ภายในของ generater องค์ประกอบของ incedent ได้มาจากการต่อ generater โดยค่า conjugate match กับ load Z_o^* ดังรูป 1.16

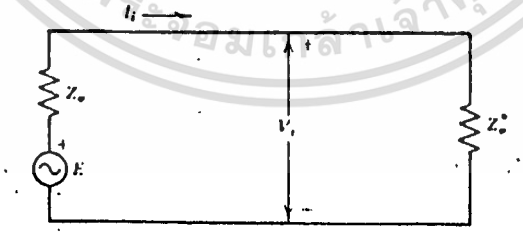
$$I_i = \frac{E\,Z_L}{Z_o+Z_o^*} = \frac{E}{2R_e Z_o} \qquad 1.44$$

$$V_i = \frac{EZ_o^*}{Z_o+Z_o^*} = \frac{EZ_o^*}{2R_e Z_o} \qquad 1.45$$

เมื่อ R_e คือค่า Real part

องค์ประกอบของการ reflected เป็นการคำนวณโดยใช้การแยกของสมการ

$$I_i = I_i - I_r \qquad 1.46$$



รูปที่ 1.16 gernerater with conjugate matchéd load used to define "incedent" components I_i และ V_i

และ $$V = V_i + V_r \qquad 1.47$$

การใช้ (1.42) และ (1.44) ใน (1.46) เราจะหากระแส reflect ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_r = I_t - I$$

$$= (Z_L - Z_o^*/Z_L + Z_o)\, I_t$$

$$= S^1 I_t \qquad 1.48$$

เมื่อ $S^1 = (Z_L - Z_o^*/Z_L + Z_o)$ คือกระแส Scattering สำหรับ one-port network ในลักษณะเดียวกันการใช้ (1.43) และ (1.45) ใน (1.47) เราหาค่า reflect voltage ได้จาก

$$V_r = V - V_t$$

$$= (Z_o/Z_o^*)\,(Z_L - Z_o^*/Z_L + Z_o) V_t$$

$$= Z_o/Z_o^*\, S_L V_t = S^2 V_t \qquad 1.47$$

เมื่อ $S^V = (Z_o/Z_o^*)\, S^1$ คือค่า voltage scattering parameter สำหรับวงจร one port และจะได้

$$V_t \quad Z_o^* I_t \qquad 1.50(a)$$

และ $$V_r = Z_o I_r \qquad 1.50(b)$$

องค์ประกอบของ incedent และ reflected มีความสัมพันธ์กับค่าของ impedence และ scattering parameter เป็นตัวกำหนด

แต่ในองค์ประกอบของ scattering parameter และ reflect จะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อ $Z_L = Z_o^*$

ค่าของ impedance นี้ส่วนมากแล้วจะทำให้มีค่าเป็น pure resistance

เอกสารนี้ สารที่ ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$R_o>0$ นั้นคือ $Z_o = R_o$ และจะใช้มันเป็นค่า normalizing หรือ reference resistance ในย่านความถี่สูงจะแทนด้วย 50 โอห์ม เพื่อติดต่อกับสายส่ง มันเป็นการแทนค่าด้วย reference resistance 50 โอห์ม ถ้า S-parameter จะทำการวัดโดยการใช้สายและ terminal เป็น 50 โอห์ม ถ้า $Z_o = R_o$ และ $Z_o^* = R_o$ ดังนั้น

$$S^I = S^V = (Z_L - R_o)(Z_L + R_o) \qquad 1.51$$

สำหรับในส่วนนี้กระแสและ voltage S-parameter ของวงจร one port มีค่าเท่ากันและมีค่าเหมือนกันกับสัมประสิทธิ์กลับของสายส่งที่มี Charateristic resistance R_o และ load Z_L Scattering parameter ของ port มีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อ impedance มีค่าเท่ากับ reference resistance Re จากส่วนของ (1.50(a)) และ(1.50(b) จะได้

$$V_t = R_o I_t \qquad 1.52(a)$$

และ $$V_r = R_o I_r \qquad 1.52(b)$$

1.3.4(ข) n-port network

Scattering parameter สำหรับ n-port network แสดงในรูปที่ 1.17 เป็นการใช้ matrix algebra ถ้าให้ generater ไม่ขึ้นอยู่กับอะไร ความหมายนี้คือ matrix Z แทนค่า internal impedance จะได้

$$[Z_o] = \begin{bmatrix} Z_{o1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & Z_{o2} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & Z_{on} \end{bmatrix} \qquad 1.53$$

องค์ประกอบของ incedant และ reflect ที่ port มีความสัมพันธ์กับกระแสและ

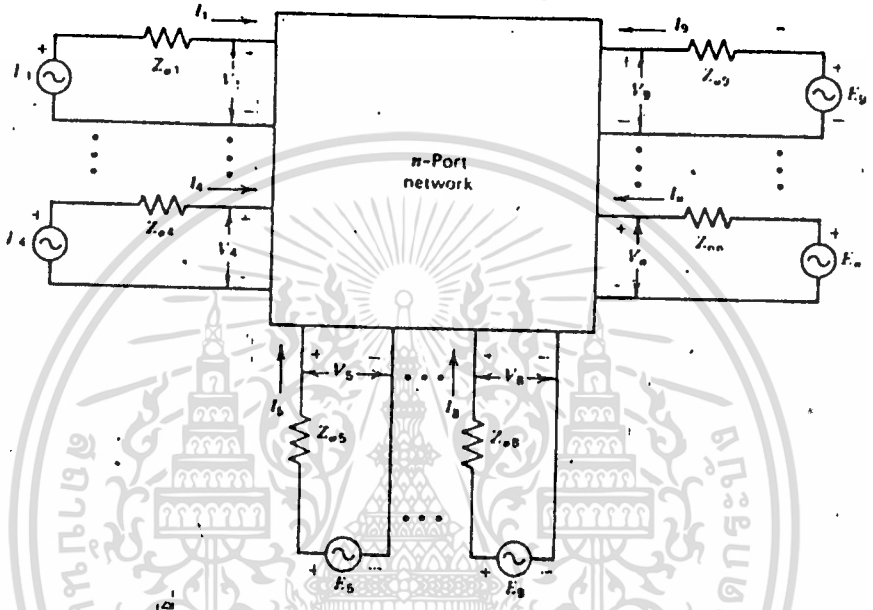
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลเตจ ที่แท้จริงของ column matrices

$$[\ I\ ] = [\ I_t\ ] - [\ I_r\ ] \qquad 1.54(a)$$

และ

$$[\ V\ ] = [\ V_t\ ] - [\ V_r\ ] \qquad 1.54(b)$$



รูปที่ 1.17 an n-port network with generator

องค์ประกอบของ incedant และ reflect สัมพันธ์โดย

$$[\ V_t\ ] = [\ Z_o\ ][\ I_t\ ] \qquad 1.55(a)$$

$$[\ V_r\ ] = [\ Z_o\ ][\ I_r\ ] \qquad 1.55(b)$$

ซึ่งมีลักษณะเดียวกันกับ one port

open cricuit impedance parameter มีความสัมพันธ์กับ n-port คือ

$$[\ V\ ] = [\ Z\ ][\ I\ ] \qquad 1.56$$

องค์ประกอบของ incedant และ reflect สามารถกำหนดจาก (1.53)-(1.56)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามนี้

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

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

รวมเทอมเหล่านี้จะได้

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

คูณทางซ้ายด้วย $([Z] + [Z_o])^{-1}$ จะได้

$$[I_r] = ([Z] + [Z_o])^{-1}([Z] - [Z_o^*])[I_i]$$

$$= [S'][I_i] \qquad 1.57$$

เมื่อ

$$[S'] = ([Z] + [Z_o])^{-1}([Z] - [Z_o^*]) \qquad 1.57(a)$$

คือกระแส Scattering-parametrix นั่นคือ analogous สำหรับ one-port ให้ใน (1.48)

ลักษณะที่คล้ายกัน การใช้ Short-cricuit admittance-parameter สัมพันธ์กับ

$$[I] = [Y][V] \qquad 1.58$$

จะได้

$$[V_r] = -([Y_o] + [y])^{-1}([y] - [Y_o^*][V_i]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= [S^{V}][V_{i}] \qquad 1.59$$

เมื่อ

$$[y] = [Z]^{-1}, \quad [Y_{o}] = [Z_{o}]^{-1} \qquad 1.60$$

คือ voltage scattering-parameter matrix

1.3.4(ค) Normalized scattering parameter

มันเป็นความสะดวกในการกำหนด normalized องค์ประกอบของ incedant และ reflect

$$[a] = (1/2)([Z_{o}] + [Z_{o}^{*}])^{1/2}[I_{i}]$$

$$= [R_{n} Z_{o}]^{1/2}[I_{i}] \qquad 1.61$$

และ

$$[b] = (1/2)([Z_{o}] + [Z_{o}^{*}])^{1/2}[I_{r}]$$

$$= [R_{n} Z_{o}]^{1/2}[I_{r}] \qquad 1.62$$

เมื่อ $1/2\,([Z_{o}] + [Z_{o}^{*}])^{1/2} = [R_{n} Z_{o}]^{1/2}$

$$= \begin{matrix} R_{n}Z_{o1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & R_{n}Z_{o2} & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & R_{n}Z_{on} \end{matrix} \qquad 1.63$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการรวม (1.57) กับ (1.61) และ (1.62)

$$[R_n Z_o]^{1/2}[b] = [I_r] = [S^t][I_t]$$

$$= [S^t][R_n Z_o]^{-1/2}[a]$$

หาค่า [b]

$$[b] = [R_n Z_o]^{1/2}[S^t][R_n Z_o]^{-1/2}[a]$$

$$[b] = [S][a] \qquad 1.64$$

เมื่อ

$$[R_n Z_o]^{-1/2} = \begin{bmatrix} 1/R_n Z_{o1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1/R_n Z_{o2} & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 1/R_n Z_{on} \end{bmatrix} \qquad 1.65$$

และ

$$[S] = [R_n Z_o]^{1/2}[S^t][R_n Z_o]^{-1/2} \qquad 1.66$$

ดังนั้น matrix S ที่ได้นี้เรียกว่า normalized scattering matrix และส่วนประกอบของมันเรียกว่า normalized scattering parameter หรือ scattering parameter

scattering parameter สามารถคำนวรได้โดยการใช้ (1.57(a) และ (1.65) สำหรับ n-port network ซึ่งมีผลต่อการขยายส่วนหรือเพิ่มขึ้นโดย normalizing impedances normalizing impedance พิจารณาที่ impedance ภายในของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

generater ดังนั้น scattering parameter ไม่ได้เกี่ยวข้องเฉพาะ n-port network แต่มันเป็นการเพิ่มของ impedance และการใช้เป็นตัวจัดการทั้งหมด ซึ่งเรียกว่า augmented n-port network แสดงได้ดังนี้

$$[S'] = [Z_o]^{-1}[S^V][Z_o^*] \qquad 1.67$$

ถ้า n-port network ไม่ใช่เฉพาะ impedance matrix แต่เป็น admittance matrix scattering parameter สามารถคำนวณโดยการใช้ (1.60) ,(1.66) และ(1.67)

ข้อดีของการทำ normalizing impedance เท่ากับ pure resistance คือต่อไปค่าตัวเลขจะเป็น normalizing หรือ reference resistance ค่าเหล่านี้จะใช้กรทำมากในการวัดค่า scattering parameter

ถ้า $[Z_o] = [Z_o^*] = [R_o]$

ดังนั้น

$$[S'] = ([Z] + [R_o])^{-1}([Z] - [R_o]) \qquad 1.68$$

และ

$$[S] = [R_o]^{1/2}[S'][R_o]^{-1/2} \qquad 1.69$$

จาก (1.69)

$$[S] = [S'] \qquad 1.70$$

ถ้า reference resister ของทุก port เท่ากัน

ส่วนประกอบของ normallized incident และ reflected สัมพันธ์กันกับการเพิ่มของ 3-port network หาจาก (1.64)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} \qquad 1.71$$

เปลี่ยนพารามิเตอร์ โดยใช้เงื่อนไข

$$[\, Z_o \,] = [\, Z_o^* \,] = [\, 1/Y_o \,] = [\, R_o \,] \qquad 1.72$$

ด้วยค่า resistance เท่ากันทั้งหมด

$$[\, S \,] = [\, S' \,] = [\, S^v \,] \qquad 1.73$$

ดังนั้น (1.57(a)) จะเป็น

$$([\, Z \,] + [\, R_o \,])[\, S \,] = [\, Z \,] - [\, R_o \,] \qquad 1.74$$

หาค่า $[\, Z \,]$

$$[\, Z \,] = [\, R_o \,]([\, I \,] + [\, S \,])([\, I \,] - [\, S \,]) \qquad 1.75$$

เมื่อ $[\, I \,]$ คือ unit diagonal matrix ซึ่ง R_o ซึ่งมีค่าเท่ากับ diagonal (1.75) จะได้

$$[\, Z' \,] = [\, Z/R_o \,]$$

$$= ([\, I \,] + [\, S \,])([\, I \,] - [\, S \,])^{-1} \qquad 1.76$$

เมื่อ $[\, Z' \,]$ แทน normalized parameter หาได้จากการหารค่าที่แท้จริงของ Z parameter โดย R_o การแสดงของสมการ (1.76) เป็นความสัมพันธ์ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนจาก S เป็น Z parameter ดังตาราง 1

โดยการใช้ (1.72) และ (1.73) สำหรับ (1.60)

$$([Y_o] + [y])[S] = -([y] - [Y_o]) \qquad 1.77$$

หาค่า [Y] จาก

$$[y] = [Y_o]([I] - [S])([I] + [S])^{-1} \qquad 1.78$$

เมื่อ [I] คือ uinit diagonal matrix ซึ่ง Y_o มีค่าเท่ากับ diagonal (1.78) จะได้

$$[y'] = [R_o y] = ([I] - [S])([I] + [S])^{-1} \qquad 1.79$$

เมื่อแทน [y'] แทนค่า normallized parameter หาได้โดยการคูณค่าที่แท้จริง Y parameter by R_o การแสดงของ (1.79) เป็นการเปลี่ยนความสัมพันธ์จาก S เป็น y parameter ดังตาราง 1 ในการเปลี่ยนอันอื่น ๆ ก็ทำได้ลักษณะเดียวกัน

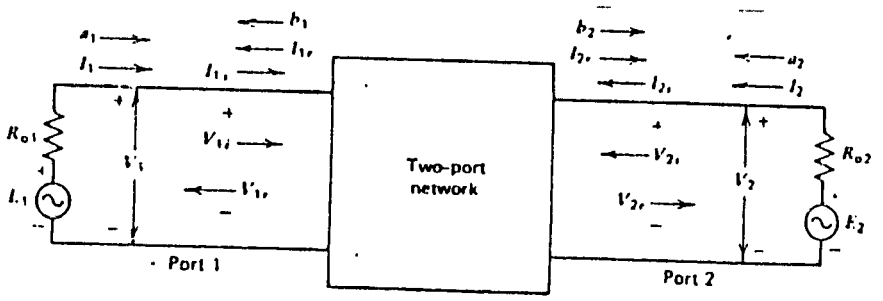
1.3.4 (ง) คำนวณ scattering parameter

พิจารณา two port network โดยการใช้ reference resister R_{o1} และ R_{o2} แสดงในรูป 1.18 scattering สามารถกำหนดได้จาก (1.64)

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \qquad 1.80$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \qquad 1.81$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.18 A two-port network augmented by reference resistance

scattering - parameter ได้จาก

$$S_{11} = \left.\frac{b_1}{a_1}\right|_{a_2 = 0} \qquad 1.82$$

$$S_{12} = \left.\frac{b_1}{a_2}\right|_{a_1 = 0} \qquad 1.83$$

$$S_{21} = \left.\frac{b_2}{a_1}\right|_{a_2 = 0} \qquad 1.84$$

$$S_{22} = \left.\frac{b_2}{a_2}\right|_{a_1 = 0} \qquad 1.85$$

ถ้าให้ $a_2 = 0$ อ้างจาก (1.61) แสดงถึง $I_{21} = 0$ มีสองเงื่อนไขที่ต้องทำให้ $I_{21} = 0$ อันดับแรกคือ $E_3 = 0$ ซึ่งความหมายคือไม่มี voltage source จากภายนอกต่อที่ port 2 R_{02} นั่นคือ $V_2 = R_{02} I_2$ โดยการใช้ (1.54) และ (1.55) เราจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_2 + R_{o2} I_2 = V_{2i} + V_{2r} + R_{o2} (I_{2i} - I_{2r})$$

$$= R_{o2} I_{2i} + R_{o2} I_{2r} + R_{o2} I_{2i} - R_{o2} I_{2r}$$

$$= 2 R_{o2} I_{2i}$$

$$= 2 \sqrt{R_{o2}} \; a_2 \qquad 1.86$$

$$a_2 = (V_2 + R_{o2} I_2)(2 \sqrt{R_{o2}}) \qquad 1.87$$

ซึ่ง $V_2 = -R_{o2} I_2$, $a_2 = 0$ และ $I_{2i} = 0$

ในทำนองเดียวกัน $a_1 = 0$ เมื่อ $E_1 = 0$ จะได้

$$a_1 = (V_1 + R_{o1} I_1)/(2\sqrt{R_{o1}}) \qquad 1.88$$

สำหรับ n-port network (1.86) และ (1.87) จะได้

$$[a] = (1/2)[R_o]^{-1/2} ([V] + [R_o][I]) \qquad 1.89$$

ถ้า n-port network มีค่าที่ terminal เป็น impedance $[Z']$ ดังนั้น

$$[a'] = (1/2)[R_o Z']^{-1/2} ([V'] + [Z'][I']) \qquad 1.90$$

เมื่อ prime (') ใช้แยกค่าจาก reference resistance

จากความสัมพันธ์ขององค์ประกอบ normalized reflect หาได้จาก (1.54) และ (1.55)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_i - R_{oi} I_i = V_{ii} + V_{ir} = R_{oi}(I_{ii} - I_{ir})$$

$$= R_{oi} I_{ii} + R_{oi} I_{ir} = R_{oi} I_{ii} + R_{oi} I_{ir}$$

$$= 2 \sqrt{R_{oi}}\ b_i \qquad 1.91$$

หรือ

$$b_1 = (V_1 - R_{o1} I_1)/(2 \sqrt{R_{o2}}) \qquad 1.92$$

ทำนองเดียวกัน

$$b_2 = (V_2 - R_{o2} I_2)(2 \sqrt{R_{o1}}) \qquad 1.93$$

สำหรับ n-port network (1.92) และ (1.93) จะได้

$$[b] = (1/2)[R_o]^{-1/2} ([V] - [R_o][I]) \qquad 1.94$$

สมการ (1.89) และ (1.94) เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง องค์ประกอบของ normalized incedent และ reflected และ กระแสที่ terminal

ถ้า n-port network terminal impedance $[Z']$ ดังนั้น

$$[b'] = (1/2)[R_o Z']^{-1/2} ([V'] - [Z'][I']) \qquad 1.95$$

กำหนดให้ a_1 หรือ $a_2 = 0$ scattering parameter สามารถหาได้จาก (1.82)-(1.85) ดังนี้

$$S_{ii} = \left. \frac{b_i}{a_i} \right|_{a_2 = 0} = \left. \frac{\sqrt{R_{oi}}\, I_{ir}}{\sqrt{R_{oi}}\, I_{ii}} \right|_{I_2 = 0}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.96

$$= \left.\frac{I_{1r}}{I_{1i}}\right|_{I_2 = 0} = \left.\frac{V_{1r}}{V_{1i}}\right|_{I_2 = 0}$$

ถ้าให้ generater ต่อที่ port 1 , load Z_L คือค่า input impedance Z_{11} ของ port 1 เมื่อ port 2 ที่ terminal คือ R_{o2} ดังนั้นจาก (1.48)และ(1.51)

$$S_{11} = \frac{Z_{11} - R_{o1}}{Z_{11} + R_{o1}} \qquad 1.97$$

ดังนั้น scattering paramrter S_{11} คือค่า reference resistance R_{o2} ในทำนองเดียวกัน

$$S_{22} = \left.\frac{b_2}{a_2}\right|_{a_1 = 0} = \left.\frac{\sqrt{R_{o2}}\, I_{2r}}{\sqrt{R_{o2}}\, I_{2i}}\right|_{I_{1i} = 0}$$

$$= \left.\frac{V_{2r}}{V_{2i}}\right|_{I_{1r} = 0} = \frac{Z_{22} - R_{o2}}{Z_{22} + R_{o2}} \qquad 1.98$$

เมื่อ Z_{22} คือค่า input impedance ของ port เมื่อ port 1 คือ reference resistance R_{o1} ดังนั้น scattering parameter S_{22} แทน reflection coefficient ภายใต้เงื่อนไขเฉพาะ การแทนค่า S_{11} แทนในลักษณะเดียวกัน

$$S_{21} = \left.\frac{b_2}{a_1}\right|_{a_2 = 0} = \left.\frac{\sqrt{R_{o2}}\, I_{2r}}{\sqrt{R_{o1}}\, I_{1i}}\right|_{I_{1i} = 0}$$

$$= \frac{\sqrt{R_{o2}}\, I_2}{\sqrt{R_{o1}}\,(E_1/2R_{o1})} = -2\sqrt{R_{o1}}\sqrt{R_{o2}}\,\frac{I_2}{E_1} \qquad 1.99$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่ง $a_2 = 0$ เมื่อ $E_2 = 0$ และ $V_2 = -R_{o2} I_2$ ดังนั้น $V_2/\sqrt{R_{o2}} = -\sqrt{R_{o2}}\ I_2$ ดังนั้น

$$S_{21} = 2\sqrt{\frac{R_{o1}}{R_{o1}}}\ \frac{V_2}{E_1} = \frac{V_2/\sqrt{R_{o2}}}{(1/2)E_1/\sqrt{R_{o1}}} \qquad 1.100$$

สมการ 1.98 และ 1.99 แสดงค่า S_{21} ซึ่งแทน transmision coefficient จาก port 1 ไป port 2 มันสามารถอยู่ในรูป complex number ถ้า V_2 และ E_1 มีค่าต่าง phase กัน

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2}\Big|_{a_1 = 0} = -2\ R_{o1}\ R_{o2}\ \frac{I_1}{E_2}$$

$$= 2\sqrt{\frac{R_{o2}}{R_{o1}}}\ \frac{V_1}{E_2} = \frac{V_1/\sqrt{R_{o1}}}{(1/2)E_2/\sqrt{R_{o2}}} \qquad 1.101$$

ซึ่งเป็น reflection coefficient จาก port 3 ไป port 1 เมื่อ port 1 และ port 2 มี refernce resistance R_{o1} และ R_{o2} กับ $E_1 = E_2 = 0$

1.3.5(ก) ไฮบริดแมทริคซ์ (Hybrid Matrix)

เป็นสมการที่หาค่า V_1 และ I_2 จาก I_1 และ V_2 ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

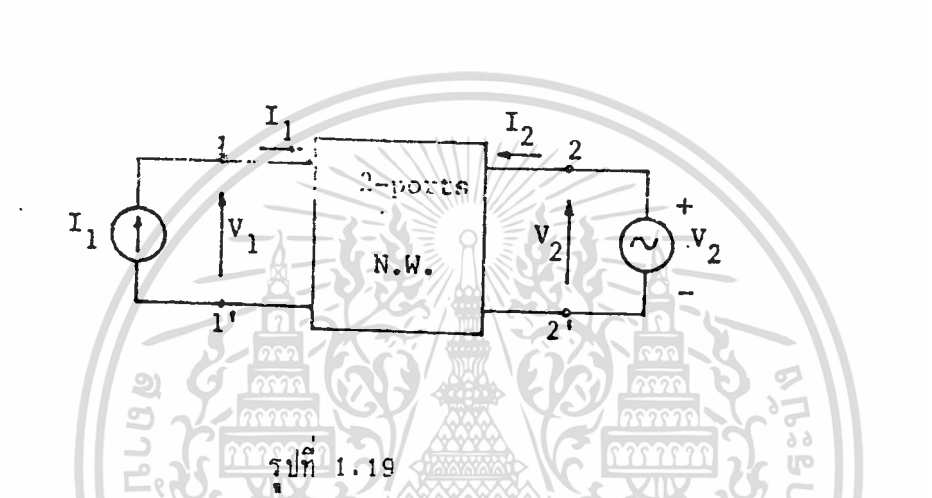
$$\left.\begin{aligned} V_1 &= H_{11} I_1 + H_{12} V_2 \\ I_2 &= H_{21} I_1 + H_{22} V_2 \end{aligned}\right\} \qquad 1.102$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \qquad 1.103$$

จะพิสูจน์สมการ 1.103 โดยอาศัยทฤษฎี Superposition ได้คือ



รูปที่ 1.19

จากรูปที่ 1.19 ตอนแรกสมมติว่ามีแต่ I_1 และให้ $V_2 = 0$ กล่าวคือเมื่อลัดวงจรทาง 2-2' แล้ว V_1^1 และ I_2^1 ต่างก็จะเป็นสัดส่วนกับ I_1 คือ

$$V_1^1 = H_{11} I_1 \quad , \quad I_2^1 = H_{21} I_1 \qquad 1.104$$

H_{11}, H_{21} เป็นค่าคงที่ H_{11} จะเป็นอิมพีแดนซ์ และ H_{21} จะไม่มีหน่วย ต่อไปให้วงจรมีแต่ V_2 และให้ $I_1 = 0$ กล่าวคือเมื่อเปิดวงจรทาง 1-1' แล้ว V_1^2 และ I_2^2 จะเป็นสัดส่วนกับ V_2 และให้ $I_1 = 0$ กล่าวคือเมื่อเปิดวงจรทาง 1-1' แล้ว V_1^2 และ I_2^2 จะเป็นสัดส่วนกับ V_2 เท่านั้นดังนั้นจะได้

$$V_1^2 = H_{12} V_2 \quad , \quad I_2^2 = H_{22} V_2 \qquad 1.105$$

H_{12}, H_{22} ก็เป็นค่าคงที่ H_{12} ไม่มีหน่วยแต่ H_{22} เป็นแอดมิตแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมี I_1 และ V_2 พร้อม ๆ กันจากทฤษฎี Superposition จะได้

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= V_1^{\,1} + V_1^{\,2} = H_{11}I_1 + H_{12}V_2 \\ I_2 &= I_1^{\,2} + I_2^{\,2} = H_{21}I_1 + H_{22}V_2 \end{aligned}\right\} \quad 1.106$$

ซึ่งเหมือนกับสมการ 1.103

1.3.5 (ข) การหาค่าของ H แมทริคซ์จาก Y, Z และ F แมทริคซ์

1) จาก Y แมทริคซ์

จากสมการ 1.11 เขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{aligned} Y_{11}V_1 + 0.I_2 &= I_1 - Y_{12}V_2 \\ Y_{21}V_1 - 1.I_2 &= -Y_{22}V_2 \end{aligned}$$

จากนี้จะได้

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= (1/Y_{11})I_1 - (Y_{12}/Y_{11})V_2 \\ I_2 &= (Y_{21}/Y_{11})I_1 + (|Y|/Y_{11})V_2 \end{aligned}\right\} \quad 1.107$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการ 1.107 กับสมการ 1.103 จะเห็นได้ว่า

$$\left.\begin{aligned} H_{11} &= 1/Y_{11}\,, \quad H_{12} = -Y_{12}/Y_{11} \\ H_{21} &= Y_{21}/Y_{11}\,, \quad H_{22} = |Y|/Y_{11} \end{aligned}\right\} \quad 1.108$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) จาก Z matrix

จากสมการ 1.22 เขียนใหม่ได้เป็น

$$1.V_1 - Z_{12}I_2 = Z_{11}I_1$$
$$0.V_1 - Z_{22}I_2 = Z_{21}I_1 - V_2$$

ดังนั้น

$$\left.\begin{aligned} V_1 &= (|Z|/Z_{22}) + (Z_{12}/Z_{22})V_2 \\ I_2 &= (-Z_{21}/Z_{22})I_1 + (1/Z_{22})V_2 \end{aligned}\right\} \quad 1.109$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการ 1.109 กับสมการ 1.103 จะเห็นได้ว่า

$$\left.\begin{aligned} H_{11} &= |Z|/Z_{22}, \quad H_{12} = Z_{12}/Z_{22} \\ H_{21} &= -Z_{21}/Z_{22}, \quad H_{22} = 1/Z_{22} \end{aligned}\right\} \quad 1.110$$

3) จาก F matrix

จากสมการ 1.33 เขียนใหม่ได้เป็น

$$1.V_1 + BI_2 = AV_2$$
$$0.V_1 + DI_2 = -I_1 + CV_2$$

ดังนั้น

$$V_1 = (B/D)I_1 + (|F|/D)V_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.111

$$I_2 = (-1/D)I_1 + (C/D)V_2$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการ 1.111 กับสมการ 1.103 จะได้

$$H_{11} = B/D \quad , \quad H_{12} = |F|/D$$

1.112

$$H_{12} = -1/D \quad , \quad H_{22} = C/D$$

1.3.5(ค) ความหมายทางฟิสิคซ์และวิธีการวัด

1) ความหมายของ H_{11}

จากสมการแรกของสมการ 1.103 เมื่อเราลัดวงจรทาง 2-2′ คือ ให้ $V_2 = 0$ แล้วจะได้

$$V_1 = H_{11} I_1$$

หรือ

$$H_{11} = \left.\frac{V_1}{I_1}\right|_{V_2 = 0}$$

1.113

นี้เป็นอิมพีแดนซ์ที่มองจากขั้ว 1-1′ ไปทางเนทเวอร์คในขณะที่ลัดวงจรทาง 2-2′ ดังนั้นจึงเรียกว่า short cricuit driving-point impendance ซึ่งแสดง +*ในรูป 1.20(ก)

2) ความหมายของ H_{12}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการแรกของสมการ 1.103 เมื่อเปิดวงจรทาง 1-1′ คือให้ $I_1 = 0$ แล้วจะได้

$$V_1 = H_{12} V_2$$

หรือ

$$H_{12} = \left.\frac{V_1}{V_2}\right|_{I_1 = 0} \qquad 1.114$$

นี้คืออัตราส่วนของศักดาทางด้าน 1-1′ เมื่อป้อน V_2 เข้ากับ 2-2′ ในขณะที่เปิดวงจรทาง 1-1′ จึงเรียกว่า open circuit reverse voltage ratio ซึ่งแสดงไว้ในรูป 1.20 (ข) ถ้าค่านี้เป็นศูนย์คือไม่มีศักดาป้อนกลับ (voltage feedback) จาก 2-2′ มายัง 1-1′ เลย ดังนั้นถ้าหากอยากได้วงจรเช่นนี้ ก็คำนวณหาค่าของ H_{12} แล้วให้เท่ากับศูนย์ก็จะได้เงื่อนไขตามต้องการ

3) ความหมายของ H_{21}

จากสมการที่สองของสมการที่ 1.103 เมื่อลัดวงจรทาง 2-2′ คือให้ $V_2 = 0$ แล้ว

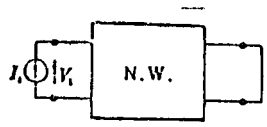
$$I_2 = H_{21} I_1$$

หรือ

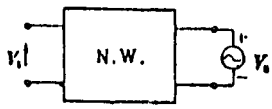
$$H_{21} = \left.\frac{I_2}{I_1}\right|_{V_2 = 0} \qquad 1.115$$

เป็นอัตราส่วนของกระแสทางด้าน 2-2′ ต่อกระแส I_1 ที่ป้อนเข้ากับ 1-1′ ในขณะที่ลัดวงจรทาง 2-2′ จึงเรียกว่า short circuit forward current ratio ดังแสดงไว้ในรูป 1.20 (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

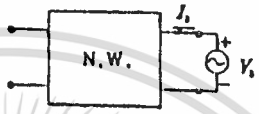


(ก) การวัด H_{11}



(ข) การวัด H_{12}

(ค) การวัด H_{21}



(ง) การวัด H_{22}

รูปที่ 1.20 การวัด H parameter

4) ความหมายของ H_{22}

จากสมการที่สองของสมการ 1.103 เมื่อเปิดวงจรทางด้าน 1-1′ คือ ให้ $I_1 = 0$ จะได้

$$I_2 = H_{22}V_2$$

หรือ

1.116

$$H_{22} = \left.\frac{I_2}{V_2}\right|_{I_1 = 0}$$

นี้เป็นแอดมิแตนซ์ที่มองจาก 2-2′ ไปยังเนทเวอร์คในขณะที่เปิดวงจรทาง 1-1′ จึงเรียกว่า open circuit driving-point admittance ดังแสดงไว้ในรูป 1.20 (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งหมดที่กล่าวมาในตอนนี้เรียกว่า ไอบริดแมทริคซ์ หรือ H แมทริคซ์ สำหรับอนุภาคทุกตัวของแมทริคซ์นี้รวมเรียกว่า H parameter แล้ถ้าเป็น natural network แล้ว จากสมการ 1.107

$$Y_{12} = H_{12}/H_{22} \quad , \quad Y_{21} = -H_{21}/H_{22} \qquad 1.117$$

และเพราะว่า

$$Y_{12} = Y_{21}$$

ดังนั้น

$$H_{12} = H_{21} \qquad 1.118$$

1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแมทริคซ์ต่าง ๆ

จากแมทริคซ์ 6 ชนิดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ถ้าวงจร 2 คู่สาย นั้นเป็นวงจรเดียวกันมันจะมีความสัมพันธ์ระหว่างกัน ความจริงแล้วจะใช้แมทริคซ์ใดก็ได้ ถ้าเลือกใช้ให้เหมาะสมและสอดคล้องกับข้อดีของมัน เช่นได้กล่าวมาแล้วว่าทรานซิสเตอร์นั้นมีอินพุทอิมพีแดนซ์ต่ำ และเอ้าท์พุทอิมพีแดนซ์สูงจึงใช้ H พารามิเตอร์ในการวัดจึงจะถูกต้องแม่นย้ำที่สุด แต่ว่าไม่อาจกล่าวได้ว่าจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์วงจรทรานซิสเตอร์อย่างรายเอียดได้ ดังนั้นจึงควรเปลี่ยนจากกรณี H พารามิเตอร์ให้เป็นวงจรต้นกำเนิดไฟฟ้าเสมือน (equivalent current source) ของ Z หรือ Y พารามิเตอร์จะเป็นการดีกว่า และในกรณีที่วงจร 2 คู่สายต่อเข้าด้วยกันหลาย ๆ วงจร จะมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในการต่อแต่ละแบบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้วิธีการเปลี่ยนระหว่างตัวพารามิเตอร์เช่นเดียวกัน ในที่นี้จึงได้รวมรวมความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของ พารามิเตอร์ไว้ตังตาราง 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	S	Z	Y	H	A
S	$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$	$S_{11} = \frac{(Z_{11}-1)(Z_{22}+1)-Z_{12}Z_{21}}{(Z_{11}+1)(Z_{22}+1)-Z_{12}Z_{21}}$ $S_{12} = \frac{2Z_{12}}{(Z_{11}+1)(Z_{22}+1)-Z_{12}Z_{21}}$ $S_{21} = \frac{2Z_{21}}{(Z_{11}+1)(Z_{22}+1)-Z_{12}Z_{21}}$ $S_{22} = \frac{(Z_{11}+1)(Z_{22}-1)-Z_{12}Z_{21}}{(Z_{11}+1)(Z_{22}+1)-Z_{12}Z_{21}}$	$S_{11} = \frac{(1-Y_{11})(1+Y_{22})+Y_{12}Y_{21}}{(1+Y_{11})(1+Y_{22})+Y_{12}Y_{21}}$ $S_{12} = \frac{-2Y_{12}}{(1+Y_{11})(1+Y_{22})-Y_{12}Y_{21}}$ $S_{21} = \frac{-2Y_{21}}{(1+Y_{11})(1+Y_{22})-Y_{12}Y_{21}}$ $S_{22} = \frac{(1+Y_{11})(1-Y_{22})+Y_{12}Y_{21}}{(1+Y_{11})(1+Y_{22})-Y_{12}Y_{21}}$	$S_{11} = \frac{(h_{11}-1)(h_{22}+1)-h_{12}h_{21}}{(h_{11}+1)(h_{22}+1)-h_{12}h_{21}}$ $S_{12} = \frac{2h_{12}}{(h_{11}+1)(h_{22}+1)-h_{12}h_{21}}$ $S_{21} = \frac{-2h_{21}}{(h_{11}+1)(h_{22}+1)-h_{12}h_{21}}$ $S_{22} = \frac{(1+h_{11})(1-h_{22})+h_{12}h_{21}}{(h_{11}+1)(h_{22}+1)-h_{12}h_{21}}$	$\frac{A+B-C-D}{A+B+C+D}$ $\frac{2(AD-BC)}{A+B+C+D}$ $\frac{2}{A+B+C+D}$ $\frac{-A+B-C+D}{A+B+C+D}$
Z	$Z_{11} = \frac{(1+S_{11})(1-S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$ $Z_{12} = \frac{2S_{12}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$ $Z_{21} = \frac{2S_{21}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$ $Z_{22} = \frac{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}$	$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$	$\frac{Y_{22}}{\Delta^Y}$ $\frac{-Y_{12}}{\Delta^Y}$ $\frac{-Y_{21}}{\Delta^Y}$ $\frac{Y_{11}}{\Delta^Y}$	$\frac{\Delta^H}{h_{22}}$ $\frac{h_{12}}{h_{22}}$ $\frac{-h_{21}}{h_{22}}$ $\frac{1}{h_{22}}$	$\frac{A}{C}$ $\frac{\Delta^A}{C}$ $\frac{1}{C}$ $\frac{D}{C}$
Y	$Y_{11} = \frac{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}$ $Y_{12} = \frac{-2S_{12}}{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}$ $Y_{21} = \frac{-2S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}$ $Y_{22} = \frac{(1+S_{11})(1-S_{22})+S_{12}S_{21}}{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}$	$\frac{Z_{22}}{\Delta^Z}$ $\frac{-Z_{12}}{\Delta^Z}$ $\frac{-Z_{21}}{\Delta^Z}$ $\frac{Z_{11}}{\Delta^Z}$	$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{h_{11}}$ $\frac{-h_{12}}{h_{11}}$ $\frac{h_{21}}{h_{11}}$ $\frac{\Delta^H}{h_{11}}$	$\frac{D}{B}$ $\frac{-\Delta^A}{B}$ $\frac{-1}{B}$ $\frac{A}{B}$
H	$h_{11} = \frac{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}$ $h_{12} = \frac{2S_{12}}{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}$ $h_{21} = \frac{-2S_{21}}{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}$ $h_{22} = \frac{(1-S_{22})(1-S_{11})-S_{12}S_{21}}{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}$	$\frac{\Delta^Z}{Z_{22}}$ $\frac{Z_{12}}{Z_{22}}$ $\frac{-Z_{21}}{Z_{22}}$ $\frac{1}{Z_{22}}$	$\frac{1}{Y_{11}}$ $\frac{-Y_{12}}{Y_{11}}$ $\frac{Y_{21}}{Y_{11}}$ $\frac{\Delta^Y}{Y_{11}}$	$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$	$\frac{B}{D}$ $\frac{\Delta^A}{D}$ $\frac{-1}{D}$ $\frac{C}{D}$
A	$A = \frac{(1+S_{11})(1-S_{22})+S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$ $B = \frac{(1+S_{11})(1+S_{22})-S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$ $C = \frac{(1-S_{11})(1-S_{22})-S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$ $D = \frac{(1-S_{11})(1+S_{22})+S_{12}S_{21}}{2S_{21}}$	$\frac{Z_{11}}{Z_{21}}$ $\frac{\Delta^Z}{Z_{21}}$ $\frac{1}{Z_{21}}$ $\frac{Z_{22}}{Z_{21}}$	$\frac{-Y_{22}}{Y_{21}}$ $\frac{-1}{Y_{21}}$ $\frac{-\Delta^Y}{Y_{21}}$ $\frac{-Y_{11}}{Y_{21}}$	$\frac{-\Delta^H}{h_{21}}$ $\frac{-h_{11}}{h_{21}}$ $\frac{-h_{22}}{h_{21}}$ $\frac{-1}{h_{21}}$	$\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อรยหว่างวงจร 2 คู่สาย

2.1 บทนำ

การนำวงจร 2 คู่สายมาใช้งานเพียงวงจรเดียวก็มีมาก แต่การนำมาใช้โดยการต่อหลาย ๆ วงจรเข้าด้วยกันก็มากเช่นกัน จึงทำให้เป็นการยากที่จะนิจารณาวงจรโดยเฉพาะการวิเคราะห์วงจรก็ดี เช่นถ้าต้องการจะทราบค่าของแมทริคซ์ในวงจรหนึ่ง ถ้าสามารถจะแยกวงจรนั้นออกเป็นวงจรง่าย ๆ แล้วนำมาต่อกันได้แล้ว ก็จะหาค่าแมทริคซ์ของวงจรเหล่านั้นได้ แล้วก็ใช้วิธีการที่จะกล่าวต่อไปนี้ หาค่าแมทริคซ์รวมอีกครั้งจะเป็นการสะดวกกว่าการหาแมทริคซ์รวมของวงจรนั้นตั้งแต่ต้น และสามารถทำให้เข้าใจวงจรได้ดีขึ้นด้วย และยิ่งไปกว่านั้นการออกแบบวงจรจะกระทำได้ง่าย และใช้กันบ่อยที่แยกแมทริคซ์ที่ต้องการออกเป็นส่วนย่อย ๆ แล้วนำวงจรที่สอดคล้องกับแมทริคซ์เหล่านั้นมาต่อเข้าด้วยกัน จากความหมายต่าง ๆ เหล่านี้ จึงจะกล่าวหลักการต่อวงจรสองคู่สายเข้าด้วยกันพร้อมทั้งพารามิเตอร์ใหม่ที่เกิดขึ้น

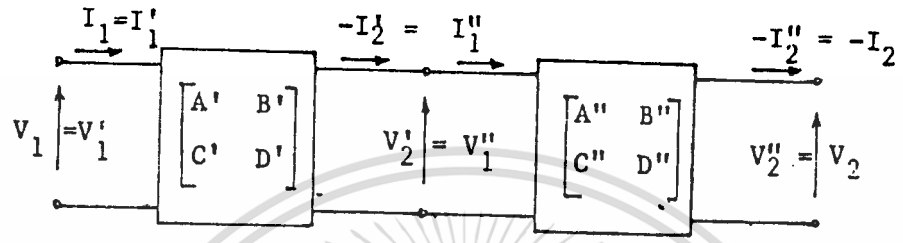
อนึ่งหลักเกณฑ์ที่จะกล่าวต่อไปนี้จะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า " หลังจากที่ต่อกันแล้ววงจรใหม่ต้องมีสภาพเป็นวงจรสองคู่สายด้วย" กล่าวคือ " กระแสที่ไหลเข้าและออกของแต่ละขั้วในวงจรเดิมจะต้องมีขนาดเท่าเดิมและมีทิศทางตรงกันข้าม " แต่ในการต่อวงจรนี้ ถ้ารู้ว่าวงจรเดิมแต่ละวงจรเป็นอย่างไร จะมีกรณีที่ไม่สามารถใช้หลักการที่จะกล่าวนี้ได้ คือเมื่อต่อเข้าด้วยกันแล้วจะเกิดการลัดวงจร หรือไม่ก็อนุภาคบางตัวหายไป เมื่อเป็นเช่นนี้จะต้องใช้ทรานสฟอเมอร์ช่วยควบคุมให้กลับเป็นเงื่อนไขเดิมได้ ถ้าไม่ใช้เช่นนี้ก็ไม่มีทางเลือกที่จะต้องคำนวณแมทริคซ์รวมจากหลักการจากเบื้องต้นต่อไป ถึงแม้จะไม่ทราบว่าภายในวงจรเป็นอย่างไรก็มีวิธีการตรวจสอบว่าจะใช้หลักการที่จะกล่าวได้หรือไม่โดยอาศัยการวัดจากขั้วภายนอกได้

สำหรับกรณีที่วงจร 2 คู่สายตั้งแต่สามวงจรขึ้นไป ตอนแรกก็ใช้เพียงสองวงจรก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วค่อยนำวงจรที่ 3, 4 ... ทำการคำนวณต่อไปทีละ 2 วงจรตามลำดับ แต่ว่าอย่างกรณีการต่อขนานหรืออนุกรมนั้นสามารถคำนวณให้สำเร็จได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น

2.2 การต่อแบบแคสเคด (Cascade connection)



รูปที่ 2.1 การต่อแบบแคสเคด

การนำเอาเอ้าท์พุทของเนทเวอร์คที่หนึ่งต่อเข้ากับอินพุทของเนทเวอร์คที่สองตามรูปที่ 2.1 นี้เรียกว่าการต่อแบบ แคสเคด

เนื่องจาก

$$\left.\begin{aligned} V_2' &= V_1'' \\ -I_2' &= I_1'' \end{aligned}\right\} \qquad 2.1$$

จาก F แมทริคซ์

$$\begin{bmatrix} V_1' \\ I_1' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2' \\ -I_2' \end{bmatrix}$$

แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} V_2'' \\ I_2'' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A'' & B'' \\ C'' & D'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2'' \\ -I_2'' \end{bmatrix}$$

แทนค่า V_2' และ I_2' ด้วย V_1'' และ I_1'' ตามลำดับ จะได้

$$\begin{bmatrix} V_1' \\ I_1' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A' & B' \\ C' & D' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A'' & B'' \\ C'' & D'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} A'A'' + B'C'' & A''B'' + B'D' \\ A''C' + C''D' & C'B'' + D'D'' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} \qquad 2.2$$

นั่นคือ F แมทริคซ์ของเนทเวอร์คที่ต่อกันแบบแคสเคดจะเท่ากับผลคูณของ F แมทริคซ์ของแต่ละเนทเวอร์คนั้น ๆ สำหรับกรณีนี้เมื่อต่อเข้าด้วยกันแล้วจะได้เงื่อนไขที่พอใจเสมอ คือสามารถจะนำสมการ 2.2 มาใช้ได้ทุกโอกาส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวงจรอิมพีแดนซ์แมทชิ่ง

3.1 บทนำ

วงจรอิมพีแดนซ์แม็ชชิ่ง มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับระบบโทรคมนาคม เนื่องจากในระบบโทรคมนาคมต้องการให้ได้ค่าการส่งกำลังงานมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ทั้งนี้จะส่งผลถึงการลดค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณด้วย ในทางทฤษฎีแล้วเมื่อค่าของความต้านทานภายในของแหล่งจ่ายสัญญาณ (R_g) มีค่าเท่ากับความต้านทานของโหลดจะให้ค่าการส่งกำลังงานจากแหล่งจ่ายสัญญาณไปยังโหลดมีค่าสูงสุด ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากตัวอย่างการคำนวณข้างล่างนี้

สมมุติว่ามีวงจรดังรูปที่ 3.1 โดนค่า R_g = 1 โอห์ม แล้วทำการปรับค่า R_L โดยกำหนดให้ค่า V_g คงที่จะได้ค่ากำลังงานที่ตกคร่อมโหลด R_L ตามกราฟรูปที่ 3.2 โดยใช้สูตรการคำนวณคือ

$$P = V^2/R \qquad 3.1$$

หาค่า $$V_1 = R_L/(R_g+R_L)\ (V_g) \qquad 3.2$$

$$R = R_L \qquad 3.3$$

ใช้สมการ 3.2 และ 3.3 แทนลงใน 3.1 จะได้

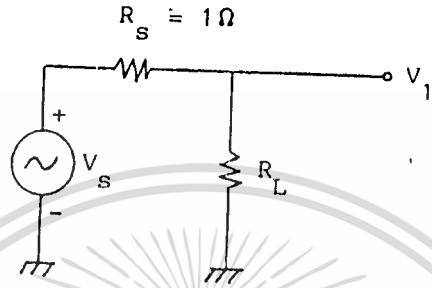
$$P_1 = \{(R_L/[R_g+R_L])(V_g)\}^2 /R_L$$

ถ้าให้ค่าของ V_g เป็น 1 จะได้

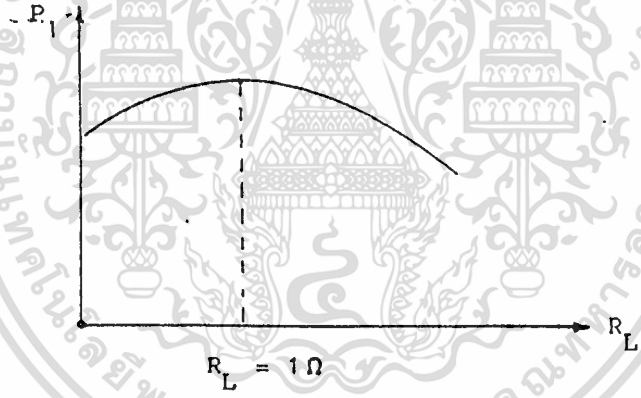
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_L = [(R_L/R_S+R_L)^2/R_L] = R_L/(1+R_L)^2 \qquad 1.4$$

จากสมการที่ 3.4 ทำการพล๊อตกราฟรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าค่า P_L จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ R_Lมีค่าเท่ากับ 1 นั่นคือ ต้องเท่ากับ R_S จึงจะได้ค่ามากที่สุด



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรในการทดลอง



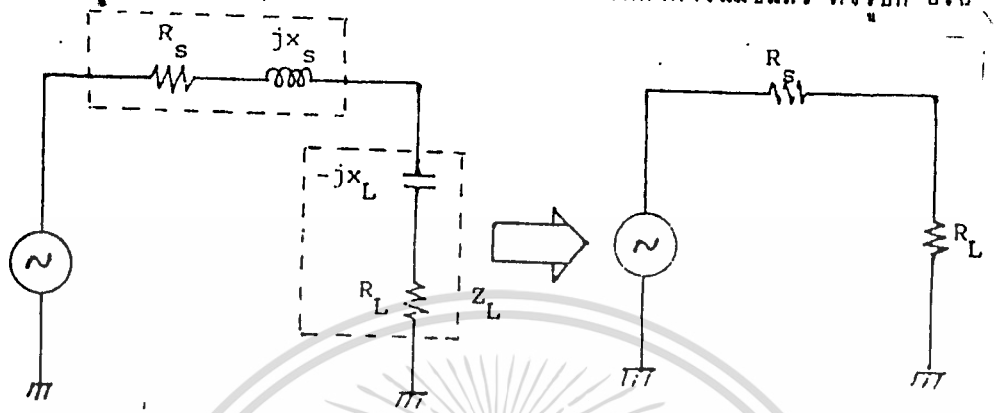
รูปที่ 3.2 กราฟแสดงค่ากำลังงาน P_L ที่ตกคร่อมโหลด R_L แต่ละค่าจะได้ค่ามากที่สุดเมื่อ R_L = 1 โอห์ม

จากคำกล่าวข้างต้นนั้นเป็นเพียงการอธิบายแบบใช้กระแสตรงเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้วต้องทำการวิเคราะห์ด้วยกระแสสลับ ความต้านทานต่าง ๆ ต้องใช้ค่าอิมพิแดนซ์แทนค่า เช่น ค่าอิมพิแดนซ์ของแหล่งจ่ายสัญญาณก็ใช้เป็น Z_S ซึ่งมีค่าเท่ากับ R+jX หรือ R-jX เป็นต้น ในการแม๊ชอิมพิแดนซ์ค่าพวกนี้ ต้องดูว่าค่านั้นเป็นบวกหรือลบ เช่นค่า Z_S ที่เกิดจากอินดักซ์แตนซ์จะมีค่าเป็น +jX ต้องใช้ค่า -jX เป็นตัวแม๊ช เพื่อให้หักล้างค่ากันไปเรียกวิธีนี้ว่า การใช้คอมเพล็ก คอนจุเกท (complex conjugate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

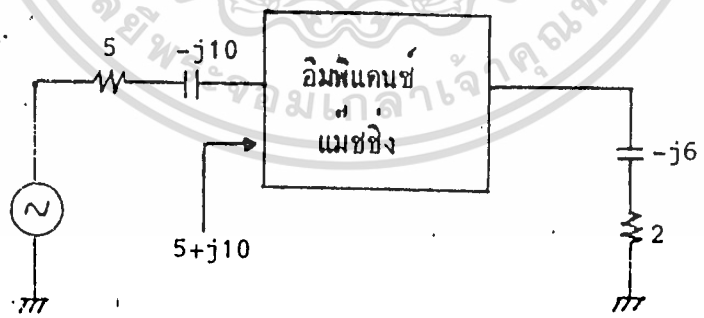
3.2 การแม็ชชิ่งวงจรรูปตัวแอล (L network)

วงจรรูปตัวแอลทั่ว ๆ ไปสามารถเขียนให้เป็นวงจรที่ทำการแม็ชแล้ว ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการแม็ชของ Z_g และ Z_L อย่างง่าย

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าการใช้ L หรือ C เพื่อช่วยในการแม็ชอิมพิแดนซ์ สามารถทำได้เมื่อเราทราบค่าอีกค่าหนึ่งว่าเป็น L หรือ C ถ้าเป็น C ก็จะค่าโหลดที่มีค่า L เข้าไปเพื่อแก้ค่า jX ให้หายไปจึงเสมือนเหลือแต่ค่า R เท่านั้น อย่างไรก็ตามค่าของโหลดอิมพิแดนซ์และซอสอิมพิแดนซ์ ถ้าเราไม่สามารถเลือกค่าได้ตามต้องการจึงจำเป็นที่จะต้องใส่วงจรอิมพิแดนซ์แม็ชชิ่งเข้าไป เพื่อให้ทั้ง Z_g และ Z_L มีการแม็ชที่สมบูรณ์ขึ้น ดังวงจรรูปที่ 3.3

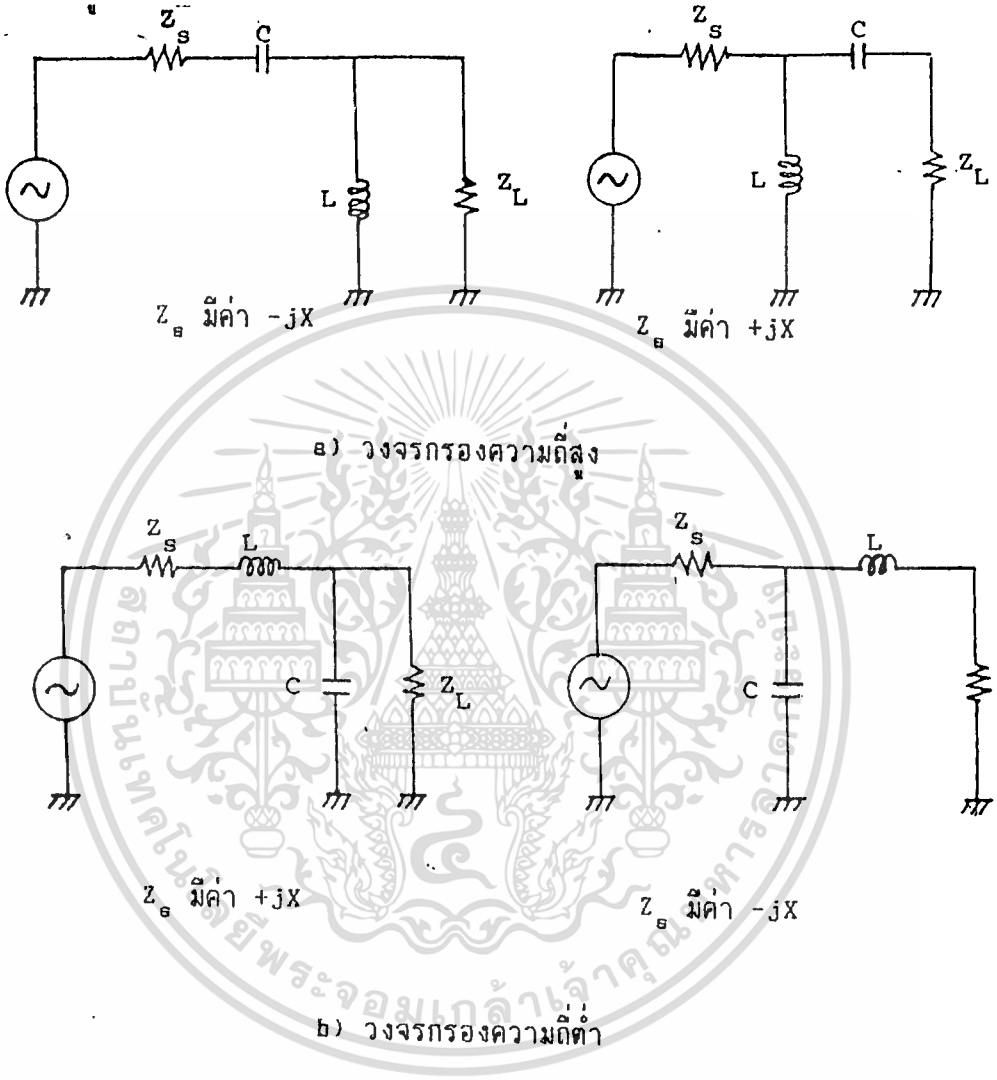


รูปที่ 3.4 แสดงการใช้วงจรอิมพิแดนซ์แม็ชชิ่ง เมื่อค่า Z_g และ Z_L ถูกกำหนดมาแล้ว

จากวงจรรูปที่ 3.4 ค่าของ Z_g และ Z_L ปรากฏค่าเป็นค่า -jX ทั้งคู่ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใส่วงจรแม็ชชิ่งอิมพิแดนซ์เข้าไปโดยให้มีคุณสมบัติเมื่อมองเข้าทางด้านทางเข้า (input) จะเห็นค่าเป็น 5+j10 เพื่อให้แม็ชกับ Z_g นั่นเอง ในขณะเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

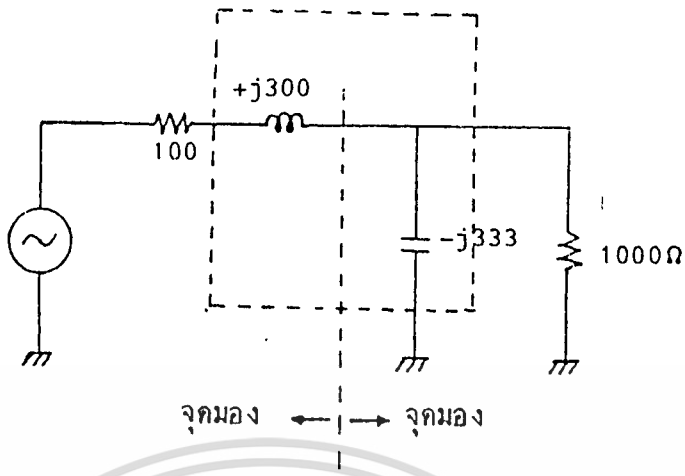
ทางออก (output) ก็จะทำตัวเป็นค่า Z_s ตัวใหม่ที่มีค่า 2+j6 เพื่อให้แม๊ชกัน ในบางครั้งจำเป็นที่จะต้องใช้วงจรกรองความถี่เข้ามาช่วยด้วย เพื่อให้ได้คุณสมบัติรวมตามต้องการ ดังนั้นจึงมีการออกแบบวงจรกรองความถี่ทั้งสูงและต่ำรูปตัวแอล เพื่อช่วยในการแม๊ชชิ่ง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรแม๊ชชิ่งที่เป็นวงจรกริงความถี่สูงและต่ำ

บางครั้งในการแม๊ชชิ่งบางวงจรจะมีความยากมาก เพราะค่าต่างๆ ของโหลดและซอสอิมพิแดนซ์มีค่าไม่เท่ากันเลยจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาอย่างดี เช่นวงจรตามรูปที่ 3.6 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงวงจรแม็ชเมื่อโหลดมีค่าไม่เท่ากันและต้องการคุณสมบัติเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ

จากรูปที่ 3.6 เมื่อเรามองค่าของอิมพิแดนซ์จากเครื่องจ่ายสัญญาณจะมีค่าอิมพิแดนซ์ 100 โอห์ม แต่ถ้ามองจากโหลดเข้ามาจะมีอิมพิแดนซ์ 1000 โอห์ม ในการวิเคราะห์การแม็ชชิ่งนี้ดูได้จากสมการข้างล่างนี้

$$Z_L = (X_C R_L)/(X_C + R_L)$$

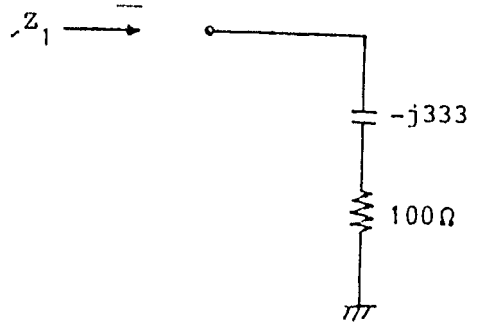
$$= [-j333(1000)]/[-j333+1000]$$

$$= 315 \angle -71.58$$

$$= 100-j300 \text{ โอห์ม}$$

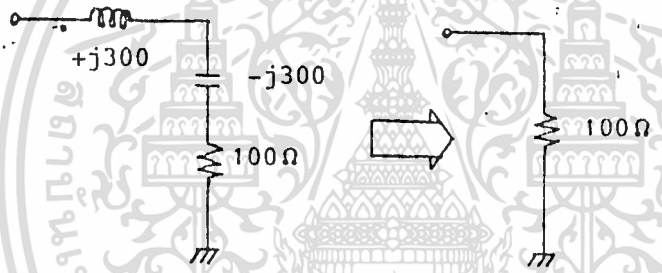
ดังนั้นจึงสามารถเขียนวงจรเมื่อมองไปทางโหลดได้ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงวงจรเมื่อมองมาทางด้านโหลด

ในทำนองเดียวกันเมื่อมองจากโหลดไปซอสจะเห็นค่าอิมพิแดนซ์ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงวงจรเมื่อมองมาทางด้านซอส

หลังจากที่ได้ออกแบบวงจรแม็ชชิ่งอิมพิแดนซ์ ก็สามารถที่จะหาค่า Q ของวงจรได้คือ

$$Q_s = Q_p = \sqrt{(R_p/R_s)-1} \qquad 3.5$$

$$Q_s = X_s/R_s \qquad 3.6$$

$$Q_p = R_p/X_p \qquad 3.7$$

ที่ $Q_s = Q$ ที่ขั้วอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q_p = Q ที่ขั้วขนาน

R_p = ความต้านทานขนาน

X_p = รีแอดแตนซ์ที่ขนาน

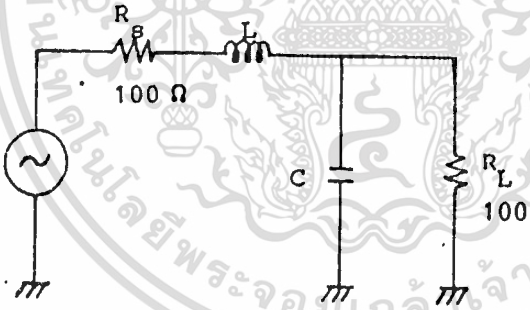
R_s = ความต้านทานที่ต่ออนุกรม

X_s = รีแอดแตนซ์ที่ต่ออนุกรม

ตัวอย่างที่ 3.1

จงออกแบบวงจรแม็ชชิ่งระหว่างเครื่องส่งสัญญาณที่มีอิมพิแดนซ์ 100 โอห์ม และโหลดซึ่งมีความต้านทาน 1000 โอห์ม โดยวงจรนี้ใช้งานที่ความถี่ 100 MHz

ในการออกแบบเมื่อต้องการให้อิมพิแดนซ์ เมื่อมองมาทางเครื่องส่งสัญญาณมีค่ามากขึ้นต้องนำอินดักเตอร์มาต่ออนุกรม ส่วนทางด้านโหลดต้องนำค่าคาปาซิเตอร์มาต่อขนานเพื่อให้ค่าอิมพิแดนซ์มีค่าน้อยลง ดังนั้นวงจรในการแม็ชจึงเป็นดังรูป



จาก $Q_s = Q_p = \sqrt{(R_p/R_s)-1}$

$Q_s = Qp = (1000/100)-1$

$Q_s = Q_p = 3$

จาก (3.6) จะได้ $X_s = Q_s R_s$

$= (3)(100)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= \quad 300$ โอห์ม (inductave)

และจาก (3.7) จะได้ $X_P = R_P/Q_P$

$= \quad 1000/3$

$= \quad 333$ โอห์ม (capacitive)

หาค่า L และ C เมื่อวงจรใช้งานที่ความถี่ 100 MH_z

จาก $L = X_L/w$

$= \quad 300/[2\pi (100 \times 10^6)]$

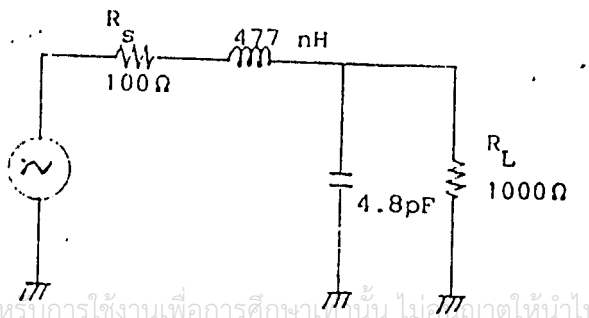
$= \quad 477$ nH

จาก $C = 1/wX_c$

$= \quad 1/[2\pi (100 \times 10^6)(333)]$

$= \quad 4.8$ pF

วงจรสุดท้ายในการแม็ชซึ่งมีค่าคือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การแม็ชชิ่งคอมเพล็กโหลด (complex load matching)

จากที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นการแม็ชชิ่งค่าโหลดที่เป็นค่าความต้านทานเท่านั้น ในทางปฏิบัติจริง ๆ ไม่ค่อยมีมากนักส่วนมากจะเป็นโหลดที่มีค่าคาปาซิทีฟหรืออินดักทีฟอยู่ด้วย ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงเป็นการออกแบบวงจรแม็ชชิ่งที่ใช้กับวงจรที่เป็นคอมเพล็กซ์โหลด ทั้งนี้รวมถึงการแม็ชอิมพิแดนซ์ของอินพุทและเอ้าท์พุทของวงจรทรานซิสเตอร์ สายส่งสัญญาณ วงจรรวมสัญญาณ วงจรสายอากาศและวงจรต่างๆ ที่ใช้ทางโทรคมนาคม

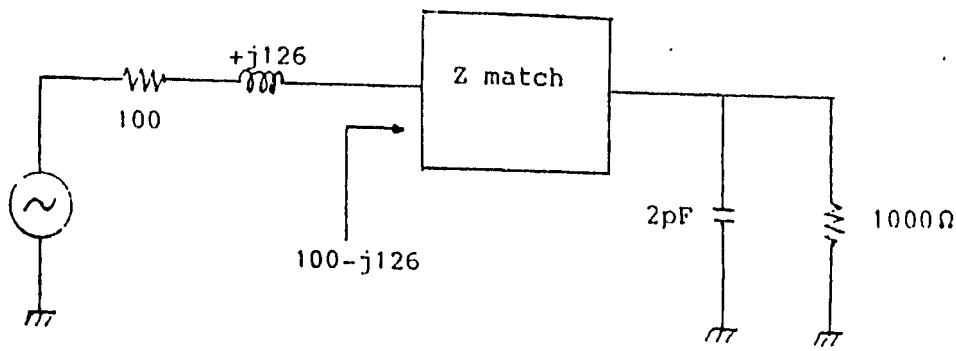
ในการหาค่าของคอมเพล็กซ์อิมพีแดนซ์ จะใช้หลัก 2 ประการคือ

1. ใช้หลักการดูดซับพลังงาน (Absorption) เมื่อทดลองใช้วงจรแม็ชชิ่งใส่เข้าไปแล้วป้อนสัญญาณด้านอินพุท ถ้าวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับไม่ได้ก็แสดงว่า แม็ชกัน 100 % คือพลังงานถูกดูดซับหมด

2. ใช้การรีโซแนนซ์ เมื่อทราบว่าในวงจรที่ต้องการแม็ชนั้นปรากฏค่าอินดักทีฟหรือคาปาซิทีฟ ก็ใช้คาปาซิเตอร์หรืออินดักเตอร์ ต่อเข้าไปตามลำดับแล้วทำการปรับค่าจนเกิดรีโซแนนซ์ (ดูค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของค่าแอมปลิจูด)

ตัวอย่างที่ 3.2

ในการใช้วิธีการแม็ชแบบดูดซับพลังงานตามวงจร ใช้งานที่ 100 MHz จงหาวงจรแม็ชชิ่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแม็ชค่า 100 + j126 ต้องใช้ค่าคอนจุเกทคือ 100 - j126 มาแม็ช ดังนั้น เมื่อมองเข้าไปทางวงจรแม็ชซึ่งจะเห็นค่า 100-j126

จาก $Q_S = Q_P = \sqrt{(R_P/R_S) - 1}$

$= \sqrt{(1000/100)-1}$

$Q_S = Q_P = 3$

$X_S = Q_S R_S$

$= (3)(100)$

$= 300$ โอห์ม

และจาก $X_P = R_P/Q_P$

$= 1000/3$

$= 333$ โอห์ม

หาค่า L และ C จาก

$L = X_L/w$

$= 300/[2\pi(100 \times 10^6)]$

$= 477$ nH

และจาก $C = 1/wX_C$

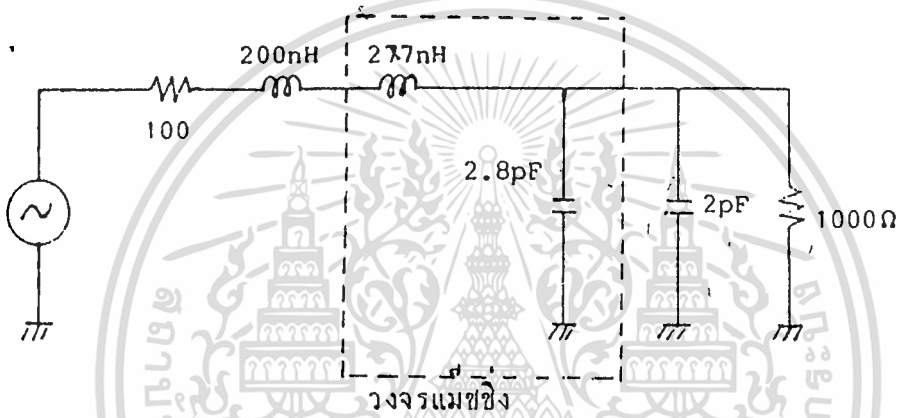
$= 1/[2\pi(100 \times 10^6)(333)]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 4.8 pF

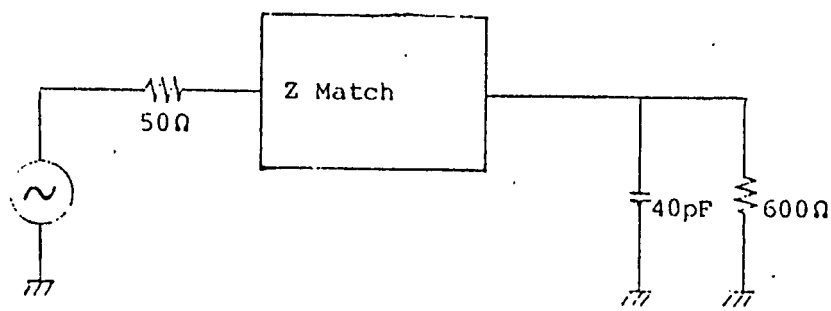
ดังนั้นในวงจรจึงต้องการอินดักเตอร์รวม 477 nH

ค่าในวงจรมีค่า +j126 ซึ่งเท่ากับ 200 nH ดังนั้นในวงจรจริงต้องบวกค่า L อีก 277 nH และค่า C ต้องเพิ่มอีก 2.8 pF ดังรูป



ตัวอย่างที่ 3.3

จงออกแบบวงจรแม็ชชิ่งอิมพีแดนซ์ โดยให้วงจรแม็ชชิ่งมีสามารถดักค่า DC จากแหล่งจ่ายสัญญาณให้ด้วย กำหนดให้ใช้งานที่ความถี่ 75 MHz วงจรกำหนดให้ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

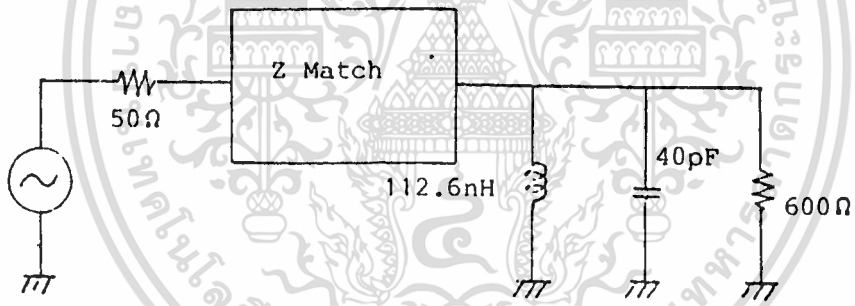
โจทย์ต้องการดักค่า DC ดังนั้นจึงใช้วงจรรูปที่ 3.5 ที่เป็นวงจรกรองความถี่สูง และจากรูปวงจรจะเห็นโหลดมีค่า C 40 pF ขนานอยู่กับโหลด ดังนั้นจึงต้องออกแบบค่า L ให้มีค่ารีโซแนนซ์กับ C ค่านี้หาได้จาก

ที่ค่ารีโซแนนซ์ $L = 1/w^2 C$

$= 1/[2 (75 \times 10^6)(40 \times 10^{-12})]$

$= 112.6$ nH

ดังนั้นวงจรจึงเป็น



จาก $Q_s = Q_p = \sqrt{(R_p/R_s)-1}$

แทนค่า $= (600/50)-1$

$= 3.32$

จาก

$X_s = Q_s R_s$

$= (3.32)(50)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= \quad 166 \quad$ โอห์ม

$X_P = R_P/Q_P$

$= \quad 600/3.32$

$= \quad 181 \quad$ โอห์ม

หาค่า L และ C

$L = X_P/w$

$= \quad 181/[2 \ (75 \times 10^6)]$

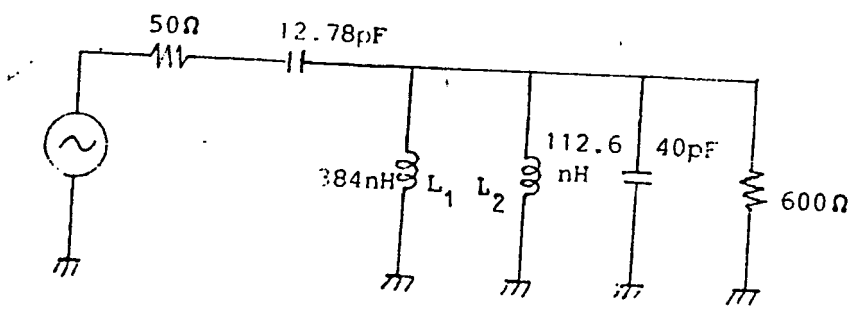
$= \quad 384 \quad nH$

$C = 1/wX_6$

$= \quad 1/[2 \ (75 \times 10^6)(166)]$

$= \quad 12.78 \quad pF$

ดังนั้นวงจรที่ได้จึงเป็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการรวมค่า L เข้าด้วยกันเป็นวงจรสุดท้ายคือ

โดยหาค่า L จาก $L_1 // L_2$ ได้

$$L = L_1 L_2 / (L_1 + L_2)$$

$$= [(384)(122.6)]/(384+122.6)$$

$$= 87 \text{ nH}$$

3.3.1 การใช้วงจรแม็ชชิ่งแบบใช้อุปกรณ์ 3 ตัว

ในหัวข้อก่อนได้กล่าวถึงการแม็ช โดยใช้อุปกรณ์ L , C 2 ตัว ต่อเป็นรูปแอล (L) โดยวงจรรูปตัวแอลนี้สามารถแม็ชวงจรที่เป็นรูปง่าย ๆ เช่น มีค่าอิมพิแดนซ์เป็น R+jX หรือ R-jX เท่านั้น และในการใช้วงจรรูปตัวแอลก็ไม่สามารถควบคุมค่า Q ให้ตามต้องการ เมื่อต้องการค่า Q สูง ๆ เพื่อให้การใช้งานมีแบนด์วิดท์แคบ ๆ (narrow bandwidth) วงจรแบบใช้ 3 อิลีเม้นท์ จะสามารถช่วยแก้ปัญหาได้ดีขึ้น วงจรแบบใช้ 3 อิลีเม้นท์นี้เรียกว่า วงจรแบบไพ ( ) ในวงจรแบบนี้จะเปรียบเสมือนวงจรแอล (L) สองวงจรต่อชนกันทำให้แม็ชได้ทั้งด้านอินพุทและเอ้าท์พุท

ในการออกแบบวงจรแม็ชชิ่งแบบพายร์ นี้สามารถคำนวณหาค่า Q ได้จาก

$$Q^2 = (1/4) (R_H/R)-1 \qquad 3.8$$

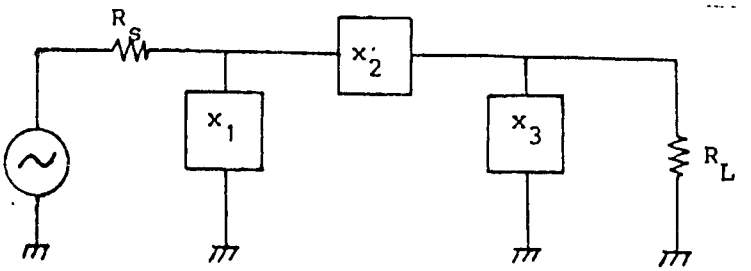
ค่าของ R_H = ค่า R_s หรือ R_L โดยคิดค่าของตัวที่มีค่ามากที่สุด

R = ค่าความต้านทานเสมือน (Virtual)

ถึงแม้ว่าค่าในการคำนวณจากสมการที่ 3.8 จะมีค่าผิดพลาดบ้างก็สามารถใช้เป็นแนวทางในการคำนวณได้ โดยในทางปฏิบัติจะใช้ค่าแรงมาณนี้ พร้อมกับทำการปรับค่าให้

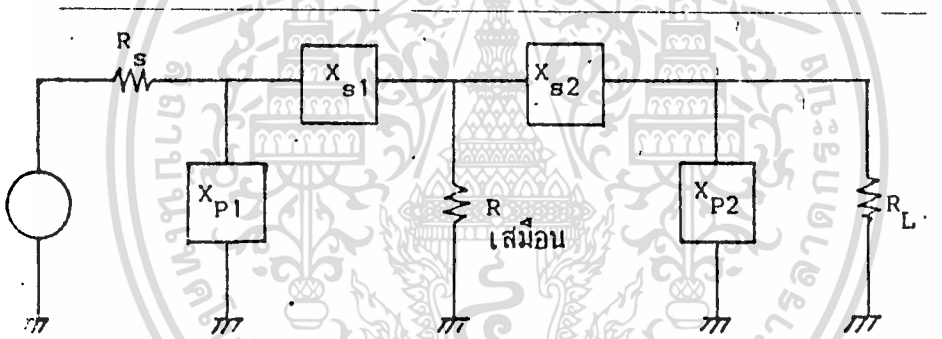
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ตามต้องการ รูปของวงจร ดูได้จากรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรแม็ชชิ่งแบบพายร์ (pi)

ค่าของความต้านทานเสมือนคือ ค่าความต้านทานที่สมมุติขึ้นมาว่าอยู่ระหว่างจุดต่อของวงจรแบบแอล ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงตำแหน่งของค่าความต้านทานเสมือน ที่เกิดขึ้นระหว่างวงจรแอล

ตัวอย่างที่ 3.4

จงออกแบบวงจรแม็ชชิ่งแบบไพ 4 แบบ ต่าง ๆ กัน เพื่อทำการแม็ชระหว่างความต้านทาน R_s เท่ากับ 100 โอห์ม และ R_L เท่ากับ 1000 โอห์ม โดยกำหนดให้ค่า Q เมื่อโหลดแล้วมีค่าเท่ากับ 15

จากสมการที่ (3.8) หาค่าของความต้านทานเสมือนได้คือ

$$R = R_H / (Q^2 + 1) + 4$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \quad 1000/(225+1)$$

$$= \quad 4.42 \quad \text{โอห์ม}$$

หาค่า X_{P2} โดย

$$X_{P2} \quad = \quad R_P/Q_P$$

$$= \quad R_L/Q$$

$$= \quad 1000/15$$

$$= \quad 66.7 \quad \text{โอห์ม}$$

ในทำนองเดียวกันหาค่า X_{S2} ได้จาก

$$X_{S2} \quad = \quad Q\,R_{S1}$$

$$= \quad (15)(4.42)$$

$$= \quad 66.3 \quad \text{โอห์ม}$$

เมื่อได้ค่าวงจรรูปตัวแอลด้านโหลดเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการหาค่า Q_1 ได้โดย

$$Q \quad = \quad \sqrt{(R_S/R)-1}$$

แทนค่า $Q_1 \quad = \quad \sqrt{(100/4.42)-1}$

$$= \quad 4.6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า X_{P1} ได้

$$X_{P1} = R_P/Q_1$$

$$= 100/4.6$$

$$= 21.7 \text{ โอห์ม}$$

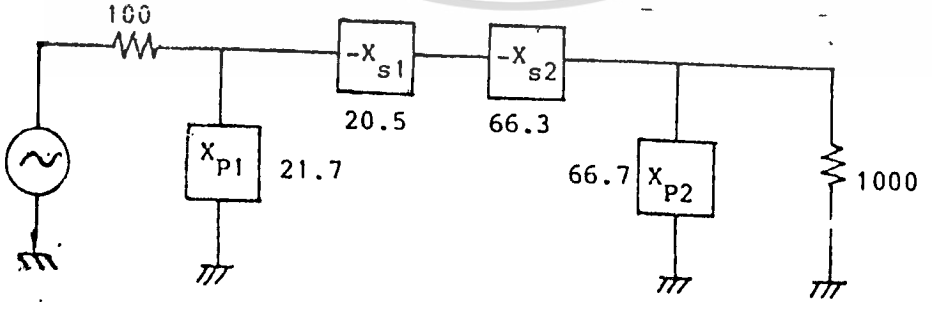
หาค่า X_{S1} โดย

$$X_{S1} = Q_1 R_{series}$$

$$= (4.6)(4.42)$$

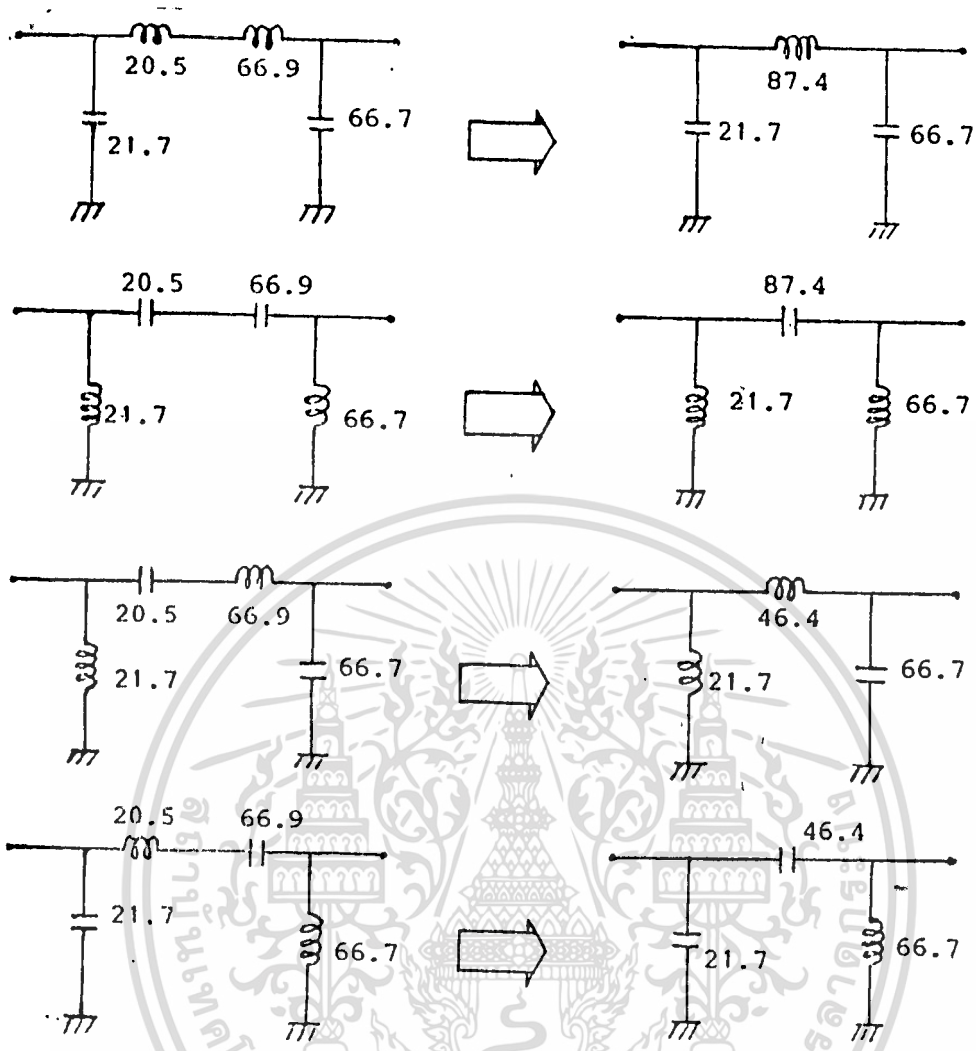
$$= 20.5 \text{ โอห์ม}$$

เมื่อได้ค่าต่าง ๆ ในวงจรตามรูปก็ทำการหาค่าและแบบของ L และ C ได้



ค่า $-X_{S1}$ และ $-X_{S2}$ ไม่ใช่ว่าค่าจะเป็นลบ แต่จะใช้แสดงถึงค่าตรงข้ามของ X_{P1} และ X_{P2} เช่น ถ้า X_{P1} เป็นอินดักเตอร์ X_{S1} ก็ต้องเป็นคาปาซิเตอร์ จากนั้นก็หาแบบของวงจรได้ตามรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากนั้นทำการหาค่าอินดักเตอร์ และ คาปาซิเตอร์ในวงจรโดยใช้

$$X_L = 2\pi f_L$$

$$X_C = 1/2\pi f_C$$

3.3.2 การใช้วงจรแม็ชชิ่งอิมพิแดนซ์แบบรูปตัวที (T)

การออกแบบวงจรแม็ชชิ่งอิมพิแดนซ์แบบรูปตัวที จะทำการคำนวณตามแบบวงจรรูปตัว

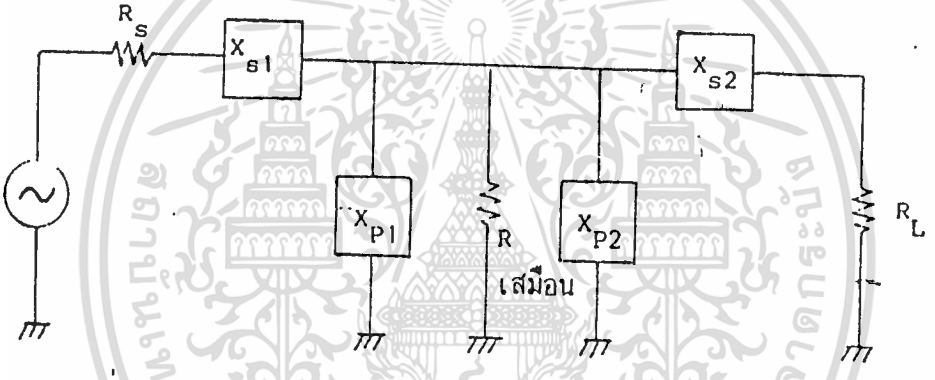
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟ โดยคำนวณการหาค่าวงจรรูปตัวแอล สองชุดที่หันหลังชนกันแล้วทำการลดรูปของวงจรเป็นรูปตัว T ดังรูปที่ 3.11 วงจรรูปตัว T นี้ ส่วนใหญ่จะใช้ในการแม๊ชชิ่งระหว่างความต้านทาน R_g และ R_L ที่มีค่าความต้านทานต่ำ ๆ และค่า Q ที่มีค่าปานกลางถึงสูง โดยค่า Q หาได้จาก

$$Q = (R/R_{min})-1 \qquad 3.9$$

โดยที่ R = ค่าความต้านทานเสมือน

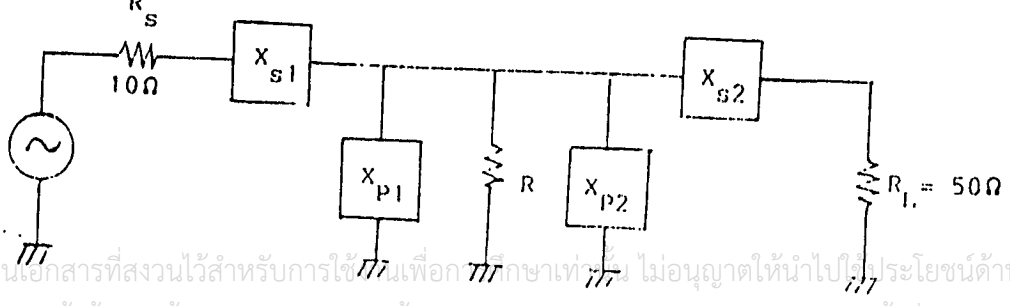
R_{min} = ค่าความต้านทาน R_g หรือ R_L โดยเอาค่าที่ต่ำสุดมา



รูปที่ 3.11 แสดงวงจรรูปตัว T ที่ใช้กับ R_L และ R_g ที่มีค่าอิมพิแดนซ์ต่ำ ๆ

ตัวอย่างที่3.5

จงออกแบบวงจรแม๊ชชิ่งอิมพีแดนซ์รูปตัว T ตามรูปโดยให้ความต้านทาน R_g = 10 โอห์ม ความต้านทานโหลด R_L = 50 โอห์ม กำหนดให้ค่า Q เท่ากับ 10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตร $Q^2 = (R/R_{min})-1$

จะได้ $R = R_{min}(Q^2+1)$

แทนค่าจะได้ $R = 10(100+1)$

$= 1010$ โอห์ม

ค่าความต้านทานเสมือนมีค่า = 1010 โอห์ม

หาค่า X_{Gt} จาก

$X_{Gt} = Q\ R_g$

$= 10(10)$

$= 100$ โอห์ม .....*

หาค่า X_{Pt} จาก

$X_{Pt} = R/Q$

$= 1010/10$

$= 101$ โอห์ม .....*

หาค่า Q จากวงจรรูปตัว L ทางด้านโหลดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_2 = \sqrt{(R/R_L)-1}$$

แทนค่า $$Q_2 = (1010/50)-1$$

$$= 4.4$$

หาค่า X_{P2} ได้

$$X_{P2} = R / Q_2$$

$$= 1010/4.4$$

$$= 231 \text{ โอห์ม}$$

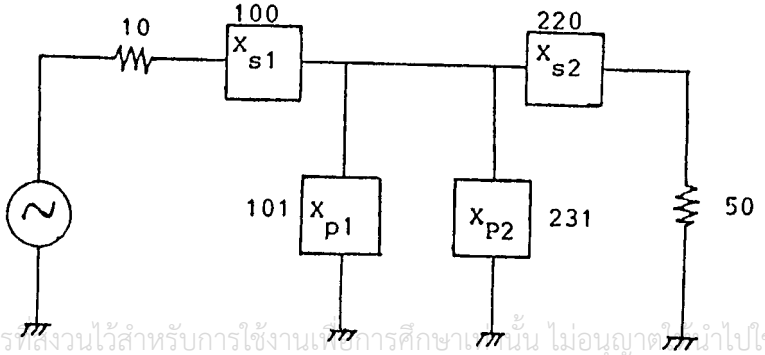
หาค่า X_{S2} ได้

$$X_{S2} = Q_2 R_L$$

$$= (4.4)(50)$$

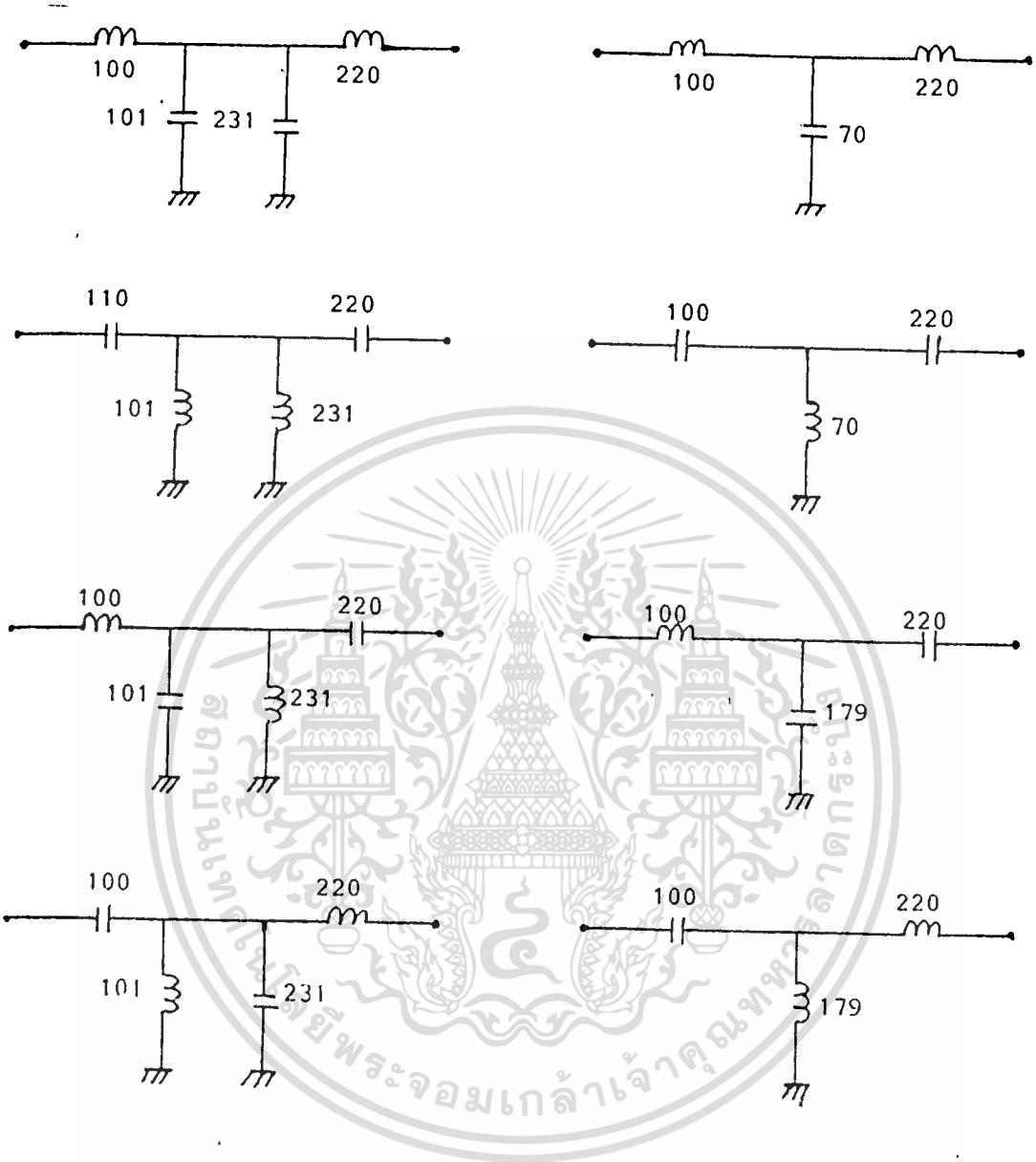
$$= 220 \text{ โอห์ม}$$

แทนค่าในวงจรได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

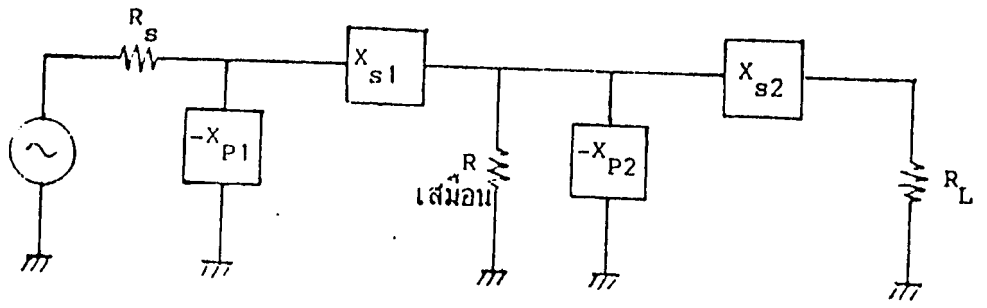
ทำการจัดรูปได้ 4 แบบคือ



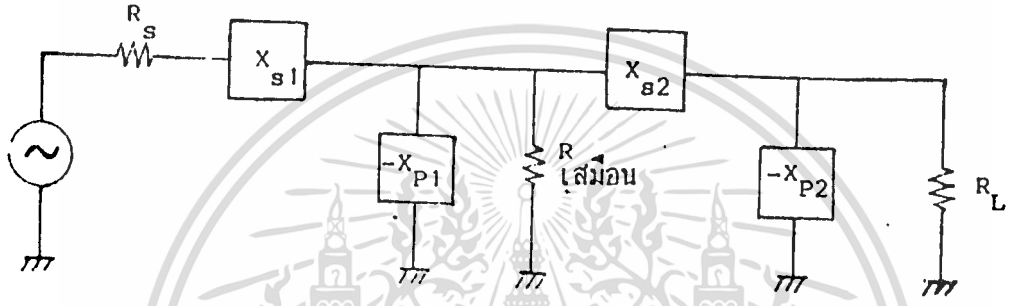
3.3.3 การออกแบบวงจรแม็ชชิ่งแบบค่า Q ต่ำ ผลตอบสนองความถี่กว้าง

ในการออกแบบวงจรแม็ชชิ่งในหัวข้อที่แล้วเป็นการออกแบบค่า Q สูง ทั้งค่า Q จะสูงโดยอัตโนมัติเมื่อใช้วงจรรูปตัว L ค่า Q จะมีความสัมพันธ์กับค่าความต้านทานของโหลดโดยตรง แม้ว่าในวงจรแม็ชชิ่งรูปตัว T และ จะสามารถออกแบบให้ค่า Q ก็ยังมีค่าสูงอยู่ดี จึงทำให้ผลตอบสนองของความถี่อยู่ในช่วงแคบ ๆ (narroa band) ในบางครั้งมีความจำเป็นต้องการวงจรแม็ชชิ่งที่ให้ผลตอบสนองที่กว้าง ในหัวข้อนี้จึงแสดงรูปแบบของวงจตามรูปที่ 3.12 ลักษณะวงจรเป็นวงจรรูปตัว L เรียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แบบ R ต่อขนาน



(ข) แบบ R ต่ออนุกรม

รูปที่ 3.12 แสดงวงจรแบบค่า Q ต่ำ แบนด์วิดท์กว้าง

การหาค่า R เสมือน หาได้จากสมการที่ 3.10

$$R = R_s R_L \qquad 3.10$$

ค่า Q หาได้จากสมการที่ 3.11, 3.12

$$Q = \sqrt{(R/R_{min})-1} \qquad 3.11$$

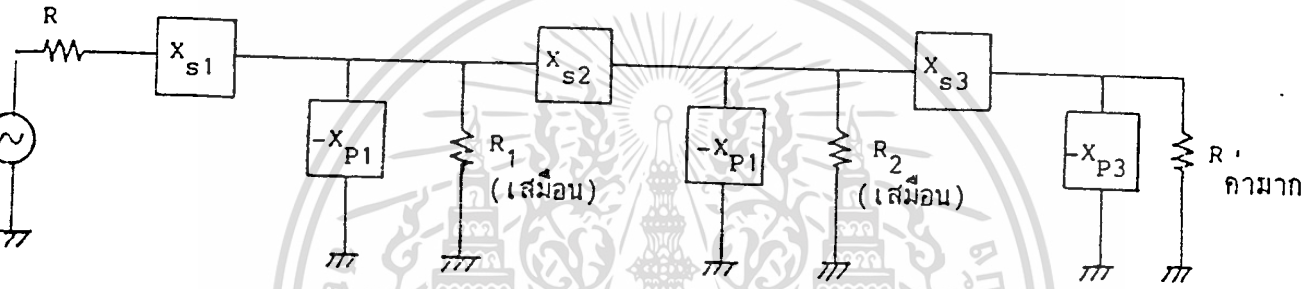
$$Q = \sqrt{(R_{max}/R)-1} \qquad 3.12$$

ถ้าทำการต่อวงจรหลาย ๆ ชุด (cascade) จะได้ค่า R เสมือน ตามสมการที่ 3.13 และวงจรรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_1/R_{min} = R_2/R_1 = R_3/R_2 \text{ --------- } R_{max}/R_N \qquad 3.13$$

การหาค่า $X_{s1}, X_{P1} \ldots\ldots X_{sn}, X_{Pn}$ ทำได้เช่นเดียวกับหัวข้อที่แล้วมา



รูปที่ .13 แสดงการต่อวงจรแบบค่า Q ต่ำ แบนด์วิดท์กว้างหลาย ๆ ชุดอนุกรมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Amplifier Design

เมื่อทรานซิสเตอร์เป็น active และ inherently stable ค่าสูงสุดของ power gain จะถูกจำกัดลง การ oscillate จะไม่เกิดขึ้นถ้าไม่มีการ feedback จากภายนอก power output ได้จากการขยาย power input

เมื่อทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะของ unstable ค่าสูงสุดของ power gain ของทรานซิสเตอร์จะไม่มีขีดจำกัด เพราะทรานซิสเตอรร์เกิดการ oscillate ดังนั้นจึงมีสัญญาณ output ที่ความถี่ของการ oscillate แต่ไม่มีสัญญาณ input ที่ต้องการ เพราะสัญญาณ output ที่ได้นี้เกิดจากการ oscillate ถ้ามีการปรับการขยายของวงจรการปรับอาจทำให้การขยายหยุดลงทันทีและเกิดการ oscillate ขึ้นได้จากการ set ค่าตัวแปรต่าง ๆ

Power Gain

1. Power gain การทำงาน

$$G_p = P_{out}/P_{in} \qquad (1)$$

เมื่อ $P_{out} = |V_2|^2 G_l$ และ $P_{in} = |V_1|^2 G_{in}$ ซึ่งเป็น power ที่ทรานซิสเตอร์ ส่งไปยังโหลดอย่างแท้จริง และสัญญาณจาก source ไปที่ทรานซิสเตอร์ ดังรูป

2. Transducer power gain

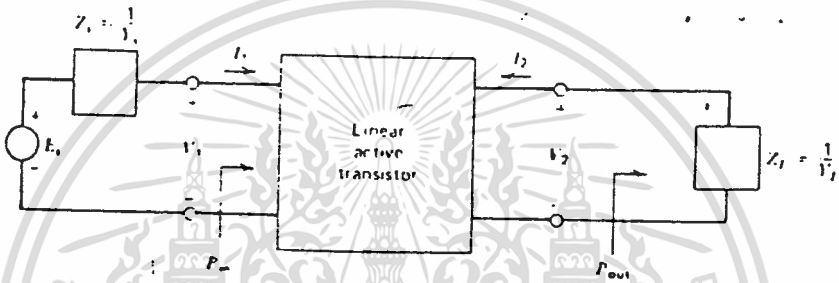
$$G_T = P_{out}/P_{avs} \qquad (2)$$

เมื่อ P_{out} คือ power ที่ถูกส่งไปที่โหลดอย่างแท้จริง และ P_{avs} คือ ความสามารถที่ source จะให้ power ออกมาได้ นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{avs} = |E_s|^2 / 4R_c Z_s = E_s^2 / 4R_s \quad (3$$

Transducer power gain ไม่ใช่ power gain ของการทำงานอย่างแท้จริง นอกจากว่าคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ match กับ source Transducer power gian มีข้อดีอยู่ที่ว่าใช้วัดเมื่อทรานซิสเตอร์ match กับ source



รูปที่ 2 linear active transistor circuit

power gain ที่สามารถทำได้คือ

$$G_A = P_{avo} / P_{avs} \quad (4)$$

เมื่อ P_{avo} คือ ความสามารถของ power จาก transister

$$P_{avo} = |E_{th}|^2 / 4R_c Z_{th} = E_{th}^2 / 4R_{th} \quad (5)$$

ซึ่ง E_{th} และ $Z_{th} = R_{th} + jX_{th} = Z_{out}$ คือ Thevenin equivalent voltage และการมองอิมพีแดนซ์ที่ output port power gain ที่สามารถทำได้ไม่ใช้ power gian ที่ทำงานอย่างแท้จริง เว้นแต่คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ match กับทั้ง source และ load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

insertion powergain

$$G_i = P_{out} / P_o' \qquad (6)$$

เมื่อ P_o' คือ power ที่ส่งไปยังโหลด ถ้าโหลดนี้ต่ออยู่กับ source โดยตรงโดยไม่มีการ match Insertion power gain ไม่ใช้ power gian ที่ทำงานอย่างแท้จริง

Operating Power gain

จากสมการที่ (1) จะได้

$$G_p = |V_2|^2 G_L / |V_2|^2 G_{in}$$

$$= |A_v|^2 G_L / G_{in} \qquad (7)$$

power gain ของการทำงาน จะไม่มีความหมายในเฉพาะส่วนที่ค่าของ G_{in} มีค่าเป็นศูนย์หรือเป็นลบ นั่นคือทรานซิสเตอร์เป็นสภาวะ unstable ถ้าอยู่ในสภาวะ inherent stability สมการที่ (7) จะเป็น

$$G_p = |Y_f|^2 G_L / [\, |Y_o+Y_L|^2 R_e [Y_i - Y_r Y_f/(Y_o+Y_L)] \,] \qquad (8)$$

จุด optimum admittance นั่นคือค่าสูงสุดของ G_p ซึ่งหาได้โดยการ set partial derivation ของ G_p ซึ่งเกี่ยวกับ G_L และ B_L มีค่าเป็นศูนย์

$$G_2 + jB_2 = Y_o + Y_L = (g_o + G_L) + j(b_o + B_L) \qquad (9)$$

$$Y_r Y_f = (g_r g_f - b_r b_f) + j(g_r b_f + g_f b_r) = P + jQ \qquad (10)$$

จาก (8) จะได้

$$G_p = |Y_f|^2 (G_2 - g_o) / [\, g_i (G_2^2 + B_2^2) - PG_2 - QB_2 \,] \qquad (11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบ $G_p / G_2 = 0$ ผลการหาด้วยสมการนี้ สำหรับ G_2 และการใช้ $G_2 = g_o + G_L$ ค่า optimum load conductance ได้

$$(G_L)_{opt} = [1/2g_i][(2g_i g_o - P)^2 - (P^2 + Q^2)]^{1/2} \quad (12)$$

ดังนั้นรูปแบบ $G_p / B_2 = 0$ สำหรับการหา B_2 และใช้ $B_2 = b_o + B_L$ ค่า optimum load susceptance ได้

$$(B_L)_{opt} = [\, Q / 2g_i \,] - b_o \quad (13)$$

สมการที่ (12) จะได้ค่า real, ค่าของ load conductance เป็นค่าบวก ถ้า

$$2g_i g_o - P > P^2 + Q^2 \quad (14)$$

ซึ่งสามารถเขียนเป็น

$$g_i g_o > [P + P^2 + Q^2\,] / 2 \quad (15)$$

ซึ่งเป็นเงื่อนไขหนึ่งสำหรับ inherent stability

ค่าสูงสุดของ power gain ของการทำงาน $(G_p)_{max}$ หาได้จากการแทนสมการ (12) และ (13) ได้ผลดังนี้

$$(G_p)_{max} = |Y_f|^2 / [\, 2g_i g_o - P + [(2g_i g_o - P)^2 - (P^2 + Q^2)^{1/2}] \,] \quad (16)$$

$$= 2|Y_f|^2 / [(2g_i g_o - P + P^2 + Q^2)^{1/2} + (2g_i g_o - P - P^2 + Q^2)^{1/2}\,]^2 \quad (17)$$

ค่า power gain สูงสุดที่ได้นี้คือ power ที่ทำงานได้จริง ซึ่งมีข้อจำกัดและมีค่าเป็นบวกสำหรับวงจรที่ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะ inherentty stable ค่า optimum ของ load ขึ้นอยู่กับ parameter ของทรานซิสเตอร์ และไม่ขึ้นอยู่กับ impedance หรือ admittance ของ source

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า input admittance สำหรับ optimumload หาได้โดย

$$(G_{in})_{opt} = [1/2g_o][(2g_i g_o - P)^2 - (P^2+Q^2)]^{1/2} \quad (18)$$

$$(B_{in})^{opt} = b_i - Q/2g_o \quad (19)$$

$$(Y_{in})_{opt} = (G_{in})_{opt} + j(B_{in})_{opt} \quad (20)$$

ในส่วนของ source การส่ง power สูงสุดไปที่ตัว transister ค่า input admittance จะต้องเป็น conjuate ของ ค่า admittance ของ source $Y_s = G_s + jB_s$ ดังนั้นสำหรับ maximum power เอ้าพุท จะดีที่ค่า power gain สูงสุด

$$(G_s)_{opt} = [1/2g_o][(2g_i g_o - P)^2 - (P^2+Q^2)]^{1/2} \quad (21)$$

$$(B_s)_{opt} = (Q/2g_o) - b_i \quad (22)$$

$$(Y_s)_{opt} = (G_s)_{opt} + j(B_s)_{opt} \quad (23)$$

ค่า optimum มีประโยชน์ตรงที่ว่าให้รู้ค่า output admittance ของทรานซิสเตอร์ เมื่อ $(Y_s)_{opt}$ คือค่า source amittance ความสามารถของการแสดงอินพุท และเอ้าพุท admittance โดยยอมให้ output admittance เขียนโดยการเช็คสมการ (18) และ (19) หลังจากการสับเปลี่ยน Y_i และ Y_o และสับเปลี่ยน Y_L และ Y_s ดังนี้

$$(G_{out})_{opt} = [1/2g_i][(2g_i g_o - P)^2 - (P^2+Q^2)]^{1/2} \quad (24)$$

และ $$(B_{out})_{opt} = b_o - Q/2g_i \quad (25)$$

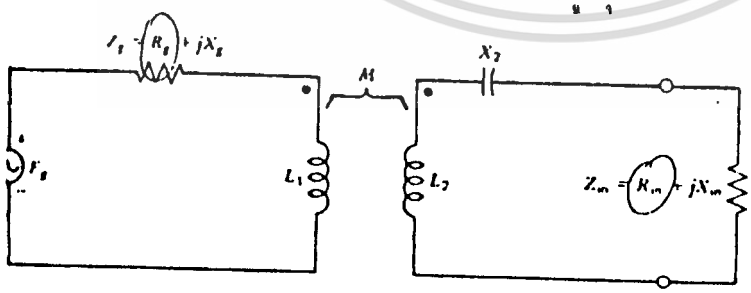
$$(Y_{out})_{opt} = (G_{out})_{opt} + j(B_{out})_{opt} \quad (26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

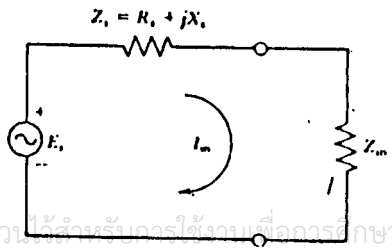
การเปรียบเทียบสมการ (24) และ (25) กับ (12) และ (13) แสดง conjugate match ระหว่าง $(Y_{out})_{opt}$ และ$(Y_L)_{opt}$ ซึ่งส่วนนี้จะทำให้ทรานซิสเตอร์ส่ง power ไปที่ load ได้สูงสุด

2.1.1.1 optimum source impedance ในการที่จะทำให้เกิดค่า maximum power transfer จาก source ไปยังทรานซิสเตอร์ จะต้องพิจารณาดูที่ค่า impedance ของ source ในรูป 2.2 b ถ้า voltage E_s มีค่าคงที่ และ ถ้า Z_{in}ให้มีค่าคงที่ ซึ่งกำหนดโดยเงื่อนไขของ maximum power gain ดังนั้นค่า maximum power จะถูกส่งไปที่ทรานซิสเตอร์ เมื่อ $R_s = 0$ และ $X_s = X_{in}$ เงื่อนไขของ $R_s = 0$ นั้นจะทำได้อยากมาก ซึ่งสัญญาณจาก source จะมาจากการขยายจาก stage ก่อนหน้านี้ หรือการ match ของ transmission line เมื่อ $R_s <> 0$

ในส่วนนี้ค่าของ voltage และ impedance ของ signal gain จะมีค่าคงที่ ดังนั้นมื่อแทรก matching impedance network เข้าไประหว่าง generator และ load ที่มีค่าคงที่ และเมื่อปรับจนได้ power maximum ที่ load ดังนั้น matching network จะต้องจัดให้เป็น conjugate match กับ signal gen. ซึ่งสามารถจะกำหนด power ได้ conjugate match ระหว่าง generater และ matching network จะเป็นตัวทำให้ได้ conjugate match ระหว่าง load กับ matching network ด้วย ถ้า matching network ไม่มีการ loss แล้ว power จาก generater นี้สามารถที่จะส่งไปยัง load ได้สูงสุด

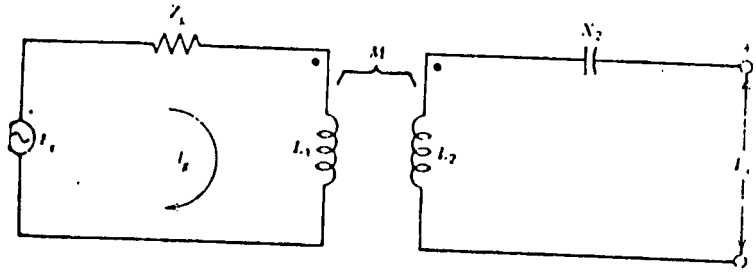


(a)

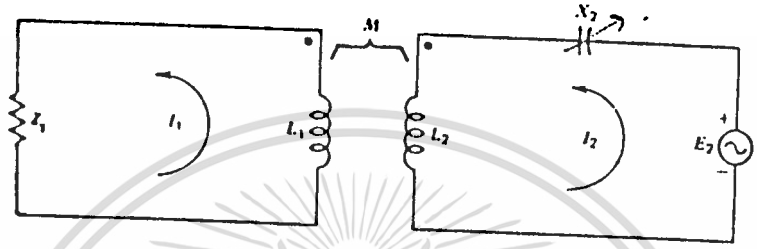


(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)



(d)

เมื่อใช้ matching network ค่า impedance ของ source เมื่อมองจาก load เข้าไปที่ matching network จะไม่เท่ากับค่า impedance ของ source ที่แท้จริง ซึ่งผลของ source impedance คือ Thevinin series impedance Z_s และsource voltage คือ Thevinin voltage E_s ดังนั้น source voltage จึงมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับ matching network ดังนั้นคุณสมบัติของ source มีค่าของ R_s <> 0 การที่จะให้เกิด maximum power ที่ load โดยต้องปรับให้ matching network มีค่า $Z_s = Z_{in}$

พิจารณารูปที่ 2.2 (a) generator voltage E_g และ impedance Z_g และ load impedance Z_{in} สมมติให้มีค่าคงที่ที่ความถี่การทำงาน ส่วนประกอบของ matching เป็น transformer ที่ไม่มีการสูญเสีย มี primary และ secondary inductance L_1 และ L_2 กับตัวแปล mutual inductance M และตัวแปลที่อนุกรมอยู่มี reactance X_2 มันเป็นตัวที่ใช้ปรับให้ได้ power สูงสุดที่ Z_{in} และสามารถทำได้โดยการใช้ วงจร Thevinin equvalent ของรูป 2.2(b) Thevinin voltage E_s และ impedance Z_s โดยพิจารณาที่ source voltage และ impedance ตามลำดับ แต่มีปัญหาอยู่ที่ว่าการกำหนดค่า Z_s ที่ดีที่สุดจะทำได้อย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_m = jwMI_g \quad (27)$$

แต่

$$I_g = E_g/[R_g+j(X_g+XL_1)] = E_g/Z_{11} \quad (28)$$

เมื่อ

$$Z_{11} = R_g+j(X_g+XL_1)$$

ดังนั้น

$$E_m = jwME_g/Z_{11} \quad (29)$$

และ

$$|E_m|^2 = [w^2M^2|E_g|^2]/|Z_{11}|^2 \quad (30)$$

E_m ขึ้นอยู่กับค่า mutual inductance ดังนั้นถ้าเปลี่ยนการ coupling เพื่อให้ match ค่าของ E_m ก็จะเปลี่ยนไป

ค่าของ Thevenin impedance หาได้จากรูป 2.2(d)

$$Z_m = E_2/I_2 \quad (31)$$

$$E_2 = j(XL_2+X_2)I_2 - jwMI_1 \quad (32a)$$

$$0 = -jwMI_2 + I_1Z_{11} \quad (32b)$$

การหาค่า I_1 ให้

$$Z_m = [w^2M^2R_2/|Z_{11}|^2] + j[XL_2+X_2 - w^2M^2(X_g+XL_1)/|Z_{11}|^2] \quad (33)$$

ดังนั้น

$$R_m = w^2M^2R_g/|Z_{111}|^2 \quad (34)$$

$$X_m = XL_2+X_2 - w^2M^2(X_g+XL_1)/|Z_{11}|^2 \quad (35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

power output หาได้จาก รูป 2.2 (b)

$$P_o = |I_{in}|^2 R_{in} \quad (36)$$

ค่า magnitude ของกระแส

$$|I_{in}|^2 = |E_g|^2 / |Z_g+Z_{in}|^2$$

$$= [w^2|E_g|^2 / |Z_{11}|^2] [M^2 / [(R_g+R_{in})^2 + (X_g+X_{in})^2]] \quad (37)$$

แทนค่า M^2 จากสมการ (34) จะได้

$$|I_{in}|^2 = [|E_g|^2/R_g] [R_g/[(R_g+R_{in})^2+(X_g+X_{in})^2]$$

ซึ่งสมมติให้ R_{in} มีค่าคงที่, P_o มีค่าสูงสุด เมื่อ $|I_{in}|^2$ มีค่าสูงสุดจะเกิดขึ้นได้เมื่อ $X_{g,opt} = -X_{in}$ และ $R_{g,opt} = R_{in}$ ด้วย ดังนั้นค่า maximum power output จะเกิดขึ้นได้ที่ $Z_{g,opt} = Z_{in}$ และค่าที่ได้คือ

$$(P_o)_{max} = E_g^2 / 4R_g \quad (39)$$

ซึ่งสมการนี้สามารถหาได้จาก generator

ส่วนสุดท้ายคือค่า optimum ของ M และ X_2 หาจากสมการ (34) และ (35) ค่า optimum M จะทำให้ค่าของ $R_g = R_{in}$ และเมื่อ X_2 (ซึ่งอาจเป็น L หรือ C) จะเป็นตัวทำให้ $X_g = -X_{in}$

2.1.1.2 เงื่อนไขสำหรับ conjugate matching สำหรับ conjugate match ทั้ง 2 port

$$Y_{in} = Y_g^* \quad (40)$$

และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y_{out} = Y_L^* \qquad (41)$$

ใน term ของ Y-parameter input และ output admittance คือ

$$Y_{in} = y_i - [\, y_r y_f \,/\, y_o + Y_L \,]$$

$$= y_i - [\, y_r y_f \,/\, y_o + Y_{out}^* \,] \qquad (42)$$

และ

$$Y_{out} = y_o - [\, y_r y_f \,/\, y_i Y_s \,]$$

$$= y_o - [\, y_r y_f \,/\, y_i + Y_{in}^* \,] \qquad (43)$$

จากสมการ (43)

$$Y_{out}^* = y_o^* - [(y_r y_f)^* \,/\, y_i^* + Y_{in} \,] \qquad (44)$$

แทนสมการ (44) ลงใน สมการ (42) จะได้

$$g_o Y_{in}^2 + [\, j(-2b_i g_o + b_r g_f + b_f g_r \,) \,] Y_{in} + g_i (g_r g_f - b_r b_f \,)$$

$$+ b_i \,(\, g_r b_f + g_f b_r \,) - g_o \,(\, g_i^2 + b_i^2 \,) \qquad (45)$$

เมื่อ $y_i = g_i + jb_i$, $y_o = g_o + jb_o$

สมการที่ (45) เป็นสมการ quadratic รูปแบบ $AY_{in}^2 + BY_{in} + C = 0$ ซึ่งสัมประสิทธิ์ A และ C เป็นค่า real, B คือค่า imaginary , และ Y_{in} คือค่า complex ใช้สมการ quadratic แทน

$$Y_{in} = [-B \,/2A] + [1/2A] \;\; B^2 - 4AC$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $A = g_o$

$$B = j(-2b_1 g_o + b_r g_f + b_f g_r)$$

$$C = g_1(g_r g_f - b_r b_f) + b_1 (g_r b_f + g_f b_r)$$

$$- g_o (g_1^2 + b_1^2)$$

ค่า B/2A โดยมากแล้วเป็นค่า imaginary ค่าของ B^2 มีค่าเป็นลบด้วยเพราะค่าของ B ดังนั้น -B/2A พิจารณาที่ input subceptance jB_{in} และ $B^2 - 4AC$ / [2A] เทอมนี้พิจารณาที่ input conductance G_{in}

ในการที่จะให้ conjugate match ด้วย passive สำหรับ $G_s > 0$ จะต้องให้ค่า input conductance $G_{in} > 0$ ด้วย ดังนั้น $A = g_o > 0$ เป็นตัวทำให้ $B^2 - 4AC > 0$ ซึ่งหมายความว่าค่า $C > 0$ ด้วย

หลังจากนั้นแทนค่า A , B , และ C

$$B^2 - 4AC = [2g_1 g_o - R_e (y_r y_f)]^2 - |y_r y_f|^2 \qquad (47)$$

ดังนั้นเงื่อนไข $B^2 - 4AC > 0$ สำหรับ conjugate matdch ที่ทั้ง 2 port กลายเป็น

$$[2g_1 g_o - r_e(y_r y_f)]^2 - |y_r y_f|^2 > 0$$

ซึ่งลดลงเป็น

$$g_1 g_o > [R_e (y_r y_f) + |y_r y_f|] / 2 \qquad (48)$$

ซึ่งส่วนนี้เป็น เงื่อไขของ inherent stability อย่างแน่นอน เพราะว่าความสมมาตรระหว่าง (42) และ (43) สำหรับ Y_{out} สามารถหาได้จาก (46) โดยการสับเปลี่ยนตัวแปล ดังนั้น $G_{out} > 0$ เมื่อเป็นไปตามเงื่อไข (48) ดังนั้นเงื่อนไข conjugate match ของทั้ง 2 port คือ เงื่อไขของ inherent stability

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จุด terminal ของ source และ load ได้จากสมการ (46) และ (47)

$$G_s = G_{in} = B^2 - 4AC / 2A$$

$$= [1/2g_o][[2g_ig_o - R_e(y_ry_f)]^2 - |y_ry_f|^2]^{1/2} \quad (49)$$

ซึ่งค่า $(G_s)_{opt}$ จากสมการ (21) แทนด้วย (46)

$$jB_{in} - B/2A = -j[[-2g_ob_i + b_rg_f + b_fg_r] / 2g_o]$$

ดังนั้น

$$B_{in} = b_i - [I_m(y_ry_f)] / 2g_o$$

สำหรับ conjugate match

$$B_s = -B_{in} = -b_i + [I_m(y_ry_f)]/2g_o \quad (50)$$

ซึ่งค่า $(B_s)_{opt}$ จากสมการ (22) เมื่อสับเปลี่ยนตัวแปร

$$G_L = G_{out} = [1/2g_i[[2g_ig_o - R_e(y_ry_f)]^2 - |y_ry_f|^2]^{1/2} \quad (51)$$

ซึ่งค่า $(G_L)_{opt}$ จากสมการ (12) และ

$$B_L = -B_{out} = -b_o + [I_m(y_ry_f)]/2g_i \quad (52)$$

ซึ่งค่า $(B_L)_{out}$ จากสมการ (13)

2.1.2 Transducer Power Gain and Available Power gain

จาก (2) transducer power gain คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_T = [4\,|g_f|^2\, G_L G_s] \,/\, |(y_i + Y_s)(y_o + Y_L) - y_r y_f|^2 \qquad (53)$$

การพิจารณาค่าของ G_T สูงสุด อันที่หนึ่งคือ ผลของการเปลี่ยนแปลง Y_L เพื่อทำให้สมการคำนวนได้ง่ายเข้า จะได้ fecter $|Y_i+Y_s|^2$ จากส่วน และใช้ $Y_{out} - y_o = [-y_r y_f] / (g_i+Y_s)$ จะได้

$$G_T = [4\,|y_f|^2\, G_L G_s] \,/\, [\,|y_i+Y_s|^2\,|Y_L+Y_{out}|^2] \qquad (54)$$

เมื่อ B_L เปลี่ยน , ค่า G_T สูงสุดเกี่ยวข้องกับ B_L เมื่อ $B_L = -B_{out}$ ดังนั้น

$$(G_T)_{B_L} = [4\,|y_f|^2\, G_s G_L] \,/\, [\,|y_i+Y_s|^2\,(G_L+G_{out})^2\,] \qquad (55)$$

การที่สมการที่ (55) แตกต่างไปนั้นเกี่ยวเนื่องมาจากค่า G_L และ

$$(G_T)_{y_i} = G_A = [|y_f|^2\, G_s] \,/\, [G_L\,|y_i+Y_s|^2\,] \qquad (56)$$

power gain ที่สามารถทำได้มีค่าเท่านี้ด้วย โหลดคือ ค่า conjugate match ของ output impedance หรือ admittance และ Transistor ส่ง P_{avo} ไปที่โหลด แต่อาจจะไม่เป็น conjugate ที่ input port

ค่าสูงสุดของ Transducer power gain นี้หาโดยค่าสูงสุดของ (56) กับความสัมพันธ์ของ Y_s ให้ส่วนของความสามารถของ power gain สูงสุด การทำที่จุดนี้ set $G_A / G_s = 0$ และ $G_A / B_s = 0$ และหาค่าที่ต้องการคือ G_s และ B_s

$$G_i + jB_s = y_i + Y_s = (g_i+G_s) + j(b_i+B_s) \qquad (57)$$

และ

$$y_r y_f = P + jQ \qquad (58)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก $G_L = G_{out} = R_n(y_o - y_r y_f / y_i + Y_s)$ (59)

จาก (56) จะได้

$$G_A = [|y_f|^2 (G_i - g_i)]/[g_o(G_i^2 + B_i^2) - PG_i - QB_i] \quad (60)$$

$$(B_i)_{opt} = Q/2g_o \quad (61)$$

หรือ $$(B_s)_{opt} = [\, Q/2g_o \,] - b_i \quad (62)$$

ซึ่งจาก (22) แทน (61) ลงใน (60)

$$G_A|_{max} = [|y_f|^2 (G_i - g_i)]/[g_o G_i^2 - PG_i - Q^2/4g_o] \quad (63)$$

set partial derivative ของ (63) ที่เกี่ยวข้องกับ G_i เท่ากับ 0 ,หลังจากนั้นหาผลของ quadratic

$$(G_i)_{opt} = g_i + [1/2g_o][(2g_i g_o - P)^2 - (P^2+Q^2)]^{1/2} \quad (64)$$

นั่นคือ

$$(G_s)_{opt} = (G_f)_{opt} - g_i$$

$$= [1/2g_o][(2g_i g_o - P)^2 - (P^2+Q^2)]^{1/2} \quad (65)$$

ซึ่งจาก (2i)

ซึ่งจากเงื่อนไขของ maximum transducer power gain และค่าสูงสุดของ power ที่ทำได้ คือ power gain ของการทำงาน

$$(G_p)_{max} = (G_T)_{max} = (G_A)_{max}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โครงสร้างและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม S-CAD

โครงสร้างของโปรแกรม S-CAD

โครงสร้างของโปรแกรม S-CAD ได้จัดแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ดังนี้

- Files
- Design
- Parameter
- Graph
- Matching

Files จัดแบ่งเป็นการกระทำเกี่ยวกับข้อมูลในการจัดเก็บ ดึงข้อมูล และแสดงข้อมูลเกี่ยวกับ Diskette โดยจัดแบ่งออกเป็นดังนี้

- Save เป็นการจัดเก็บข้อมูลที่ออกแบบไว้ลง Diskette
- Load เป็นการดึงข้อมูลจาก Diskette มาแสดงบนจอ Monitor
- Dir เป็นการนำ File Directory ใน Diskette มาแสดงบนจอ Monitor
- Exit เป็นการออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design เป็นส่วนของการออกแบบวงจรขยายโดยใช้ทรานซิสเตอร์ซึ่งจะรับ parameter ต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์ ชนิดของ matching ค่าของ source และ load ค่าความถี่ จุดทำงานของวงจร เพื่อกระทำการคำนวณค่าคุณสมบัติของวงจรและจัดการแสดงค่าต่าง ๆ และวงจรออกมาทางจอภาพได้

Parameter เป็นส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการเปลี่ยนค่า parameter ตามต้องการ โดยการป้อนค่า parameter ที่จะเปลี่ยนเข้าไป แล้วโปรแกรมจะทำการเปลี่ยนให้ตามต้องการ

Graph เป็นส่วนของโปรแกรมแสดงผล Respone ของวงจรส่วนต่าง ๆ เช่น Amplifier , Matching ชนิดต่าง ๆ

Matching เป็นส่วนของการออกแบบวงจร Matching แบบต่าง ๆ เช่น L, T, Pi และสามารถบันทึกค่า Respone ของวงจรได้ด้วย

การทำงานของโปรแกรม S-CAD

การทำงานของโปรแกรม S-CAD ได้ขัดแบ่งการทำงานตามโครงสร้างดังที่กล่าวมาแล้ว

การทำงานของ File จะเป็นดังนี้คือ

ในส่วนของ Save จะทำการเก็บส่วนของวงจรที่สามารถออกแบบได้โดยได้จัดแบบออกเป็น 2 หน้า ซึ่งเมื่อเราเลือกส่วนของการ Save โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลบนจอภาพ ซึ่งอยู่ในรูปข้อมูลตามที่ป้อนทางอินพุท keyboard ข้อมูลนี้จะทำได้ในส่วนของการ Design , Matching ในการ Save ข้อมูลนี้จะต้องทำการตั้งชื่อโปรแกรมก่อนแล้วจึง Save ได้

ในส่วนของ load จะทำการ load ข้อมูลใน Diskette ออกมาเพื่อเข้าสูตรการคำนวนและสามารถทำการพิมพ์รูปวงจรออกทาง printer ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งการ Save และ load จะกระทำกับข้อมูลเป็น ตัวเลข ซึ่งทำได้ง่ายและประหยัดพื้นที่ในการบันทึก

ส่วนของ Dir เป็นการดึง file ข้อมูลใน Diskette มาแสดงผลบนจอภาพ ซึ่งโหมดของการแสดงภาพนี้อยู่ในโหมดของ Graphic โหมด ซึ่งสามารถเลือกแสดงข้อมูล file ตามนามสกุลที่ต้องการได้ โดยการป้อน string ของชื่อ file และนามสกุลลงไป ในส่วนที่จัดไว้ให้ ซึ่งถ้าไม่มีการป้อนค่าใด ๆ อาจจะทำให้แสดงค่า Directory ผิดพลาดได้

ส่วน Exit เป็นการยกเลิกหรือออกจากโปรแกรม S-CAD ไปสู่ DOS ของระบบ

การทำงานของส่วน Design

เป็นส่วนของการออกแบบวงจรขยายโดยใช้ทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะต้องมีการป้อนค่าข้อมูลในส่วนที่จะออกแบบลงไป คือจำนวน state ของวงจรที่จะทำการออกแบบเพื่อเป็นการกำหนด Loop ของการคำนวณ , ค่า parameter ของทรานซิสเตอร์ตาม data sheet ซึ่งอาจเป็นแบบ H, Z, Y, F และ Z parameter ซึ่งในการคำนวณนี้ส่วนของโปรแกรมจะทำการเปลี่ยน parameter ที่ป้อนเข้ามาเป็น Y-parameter อย่างเดียว เพื่อทำให้เข้าสูตรในการคำนวณ จากนั้นก็มีค่า ความถี่จุดทำงาน,แบบของ matching ที่จะใช้ในวงจร โดย matching จะเป็นแบบ L, T, Pi

ในการคำนวณการต่อทรานซิสเตอร์กับ matching เพื่อให้ match กับ source และ load ซึ่งวงจรอาจมีมากกว่า 1 state ฉะนั้นจึงคำนวณหา matching ออกเป็นส่วน ๆ แล้วนำมา cascade กันตามหลักของการคำนวณของ Two-port network โดยแต่ละขั้นของการคำนวณจะเป็นดังนี้

1. หาค่า Impedance ของ source

2. หาค่า input impedance ของ transister

3. เลือก matching ที่ต้องการ matching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คำนวณจุดที่เกิดการ matching ระหว่าง Impedance ของ source กับ Input Impedance ของทรานซิสเตอร์

5. หาค่า output impedance ของ transister

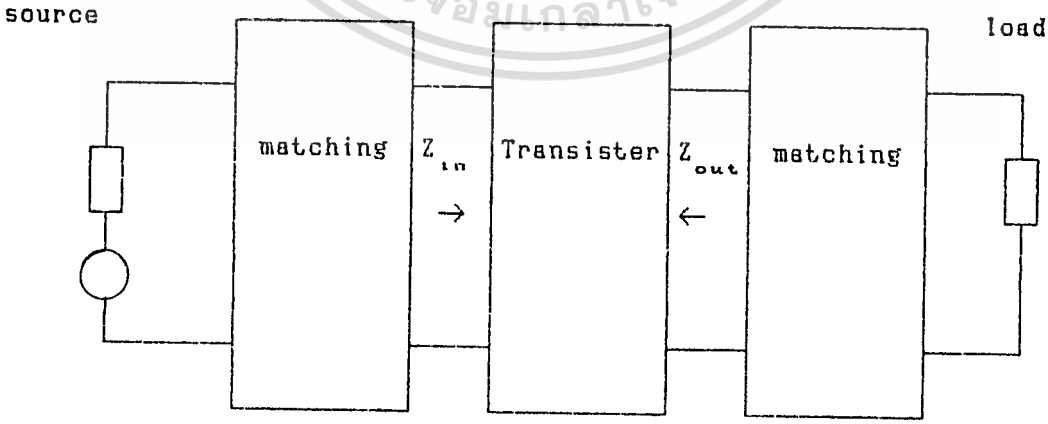
6. หาค่า Impedance ของ load

7. คำนวณจุดที่เกิดการ matching ระหว่าง output impedance ของ transister กับค่าของ load

8. ถ้าค่า state ในการออกแบบมีค่ามากกว่า 1 state ให้ทำการเปลี่ยนค่าของ load ในข้อ 7. เป็น input impedance ของ transister ตัวต่อไป

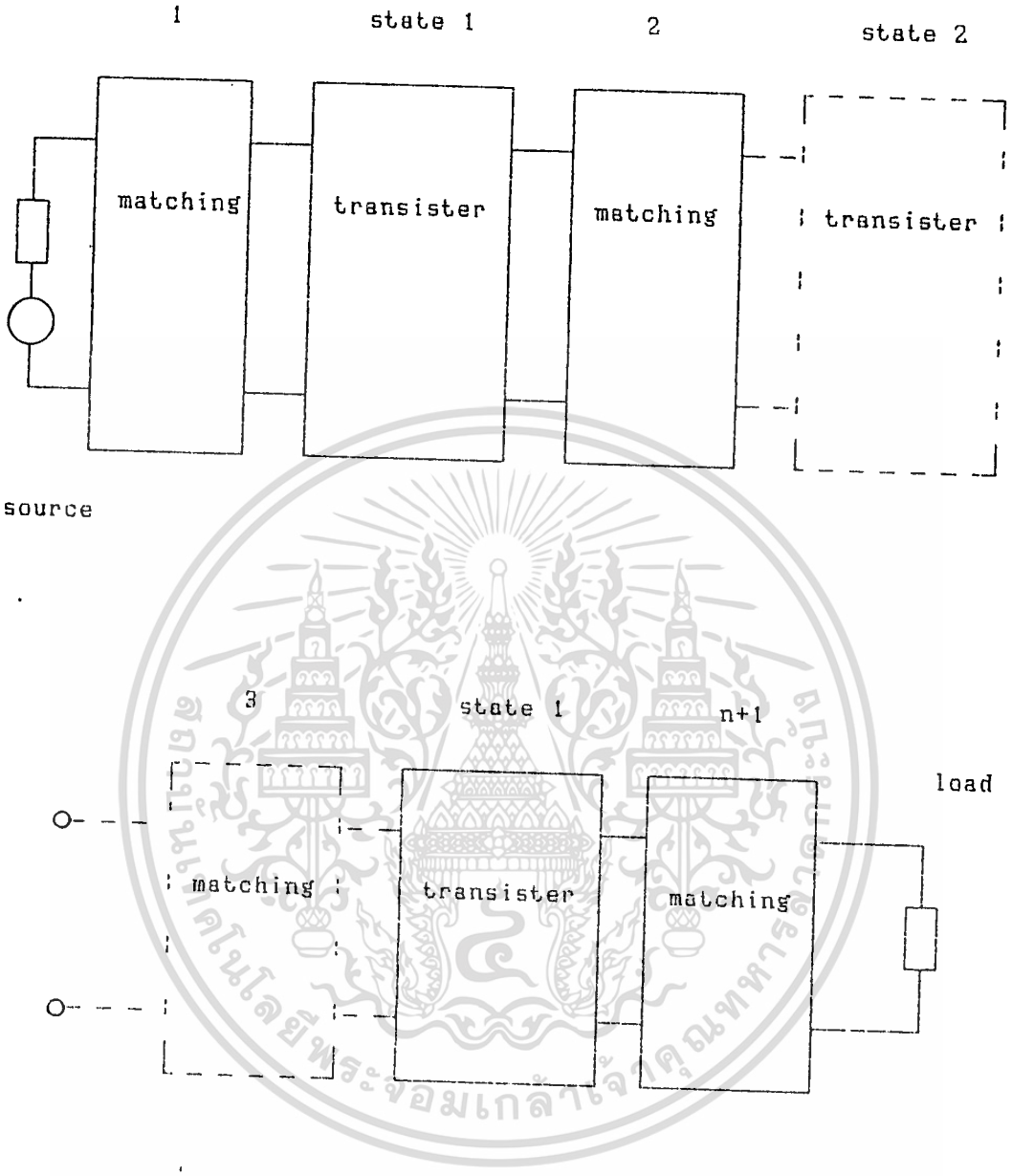
9. กระทำการคำนวณตามข้อ 4. ลงมาโดยการแทนค่าของ output impedance ของทรานซิสเตอร์ ตัวแรกลงไปที่ source

10. ทำการนำวงจรที่ต่อกันได้มาคำนวณแบบ cascade กัน เพื่อทำการหาคุณสมบัติทางด้านเอ้าท์พุทของวงจรโดยการใช้ F-parameter ดังแสดงเป็นขั้นตอนการคำนวณดังนี้



รูปที่ 1 แสดงการพิจารณาวงจรกรณี 1 state

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แสดงการพิจารณาแกรดีมากกว่า 1 state

11. ทำการแปลงคุณสมบัติของแต่ละส่วนให้เป็นวงจรตามการที่คำนวณในขั้นตอนต้น ๆ

การทำงานของ Parameter

เป็นส่วนของโปรแกรมที่ใช้สำหรับทำการเปลี่ยนค่าของ parameter ตามตาราง เปลี่ยนค่าของ parameter ตามต้องการโดยจะแบ่ง parameter ออกเป็นดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S-parameter

Y-parameter

Z-parameter

H-parameter

F-parameter

ซึ่งการทำงานจะต้องให้ค่า input parameter และเลือกชนิดของ parameter ที่ต้องการ โปรแกรมส่วนนี้แยกออกมาเป็นส่วนของการแปลง parameter เท่านั้น

การทำงานของ Graph

ในส่วนของโปรแกรม respone ใช้สำหรับแสดงผลของการตอบสนองของวงจร amplifier และ matching ที่ออกแบบไว้โดยจะแสดงเป็นแบบตารางกราฟ log ตั้งแต่ 1 MHz - 10 GHz ซึ่งในการแสดงการตอบสนองของวงจรนี้จะต้องมีการออกแบบวงจรไว้ก่อน

ส่วนของ Linvill จะแสดงคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวว่าสามารถทำงานได้ stabilityที่ความถี่จุดใดบ้างค่านี้จะแสดงเป็นแบบตาราง log เหมือนกันโดยจะมีช่วงในการเลือกเป็นช่วง ๆ

ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องมีการออกแบบวงจรแล้ว เช่นกันต้งจะให้ค่า respone ออกมาได้

การทำงานของ matching

เป็นส่วนของโปรแกรมที่ใช้สำหรับการออกแบบ matching แบบต่าง ๆ ดังนี้คือ

L - type matching

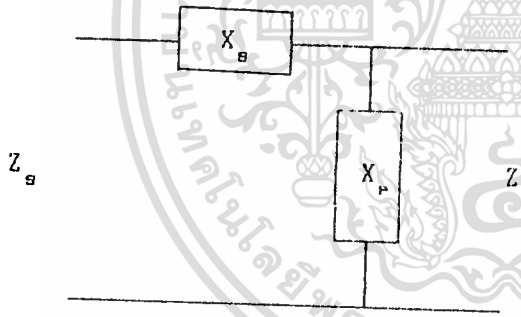
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T - type matching

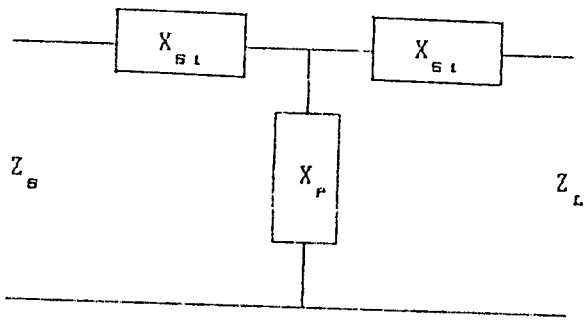
Pi- type matching

การคำนวณของ matching แต่ละแบบนั้นจะใช้ตามหลักการของทฤษฎีที่กล่าวมาแล้ว ในการคำนวณจะพิจารณาที่ load และ source ความถี่ของการใช้งานและ bandwidth ของวงจรเป็นหลัก โดยส่วนของโปรแกรมแบบ L-type matching จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ low pass กับ high pass เพื่อใช้พิจารณาอุปกรณ์ที่นำมาต่อ

ในการออกแบบ matching นี้สามารถที่จะออกแบบเป็นหลาย ๆ state ได้เหมือนกับการออกแบบ amplifier และสามารถแสดงผลของการตอบสนองของสัญญาณได้ด้วยกราฟ log เช่นกัน การออกแบบหลาย state ก็โดยการเอาวงจรมา cascade กันแล้วทำการหาคุณสมบัติของวงจรทางด้านเอ้าท์พุทซึ่งแสดงในรูป

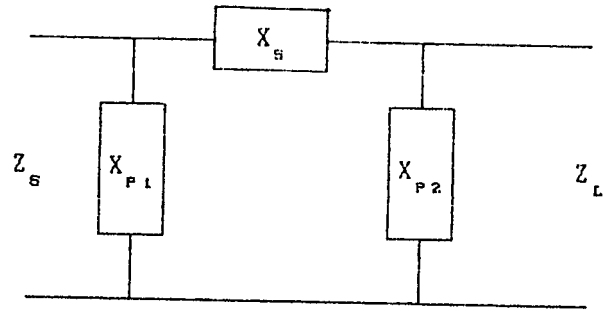


(ก) L-type matching



(ข) T-type matching

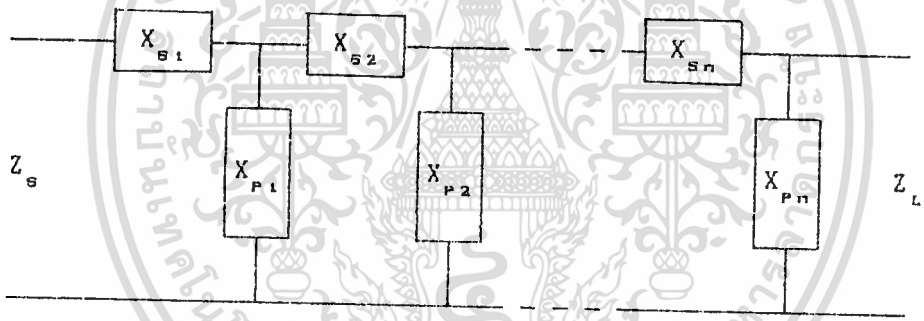
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) Pi-type matching

รูปที่ 3 แสดง matching แบบต่าง ๆ ที่สามารถออกแบบได้ แบบ 1 state

การออกแบบหลาย ๆ state ก็สามารถทำได้โดยการกำหนด loop ของ state ที่จะออกแบบแล้วทำการคำนวณค่าแต่ละ loop ดังนี้



รูปที่ 4 แสดงลักษณะรูปการคำนวณ matching แบบ L-type

ซึ่งในการออกแบบ แบบ T-type และ Pi-type ก็มีลักษณะเดียวกันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองออกแบบ RF AMPLIFIER,MATCHING และการหาค่า PARAMETER ด้วยโปรแกรม S-CAD

จากที่กล่าวมาแล้ว โปรแกรม S-CAD เป็นโปรแกรมออกแบบวงจรขยายความถี่สูงซึ่งพิจารณาเฉพาะทางด้าน RF ฉนั้นวงจรที่ออกแบบได้จึงไม่มีการพิจารณาของ DC. circuit bias และใช้กราฟแสดงผลการตอบสนองรวมของวงจรซึ่งในการพิจารณาต้องพิจารณาจุด stable ของทรานซิสเตอร์ในย่านความถี่ที่ใช้งานด้วย

1.1 การทดลองออกแบบ RF Amplifier 1 State

ที่ความถี่ 200 MHz

อินพุทอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

เอ้าท์พุทอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์แบบ S

S_{11} = 0.69 มุม -30 องศา

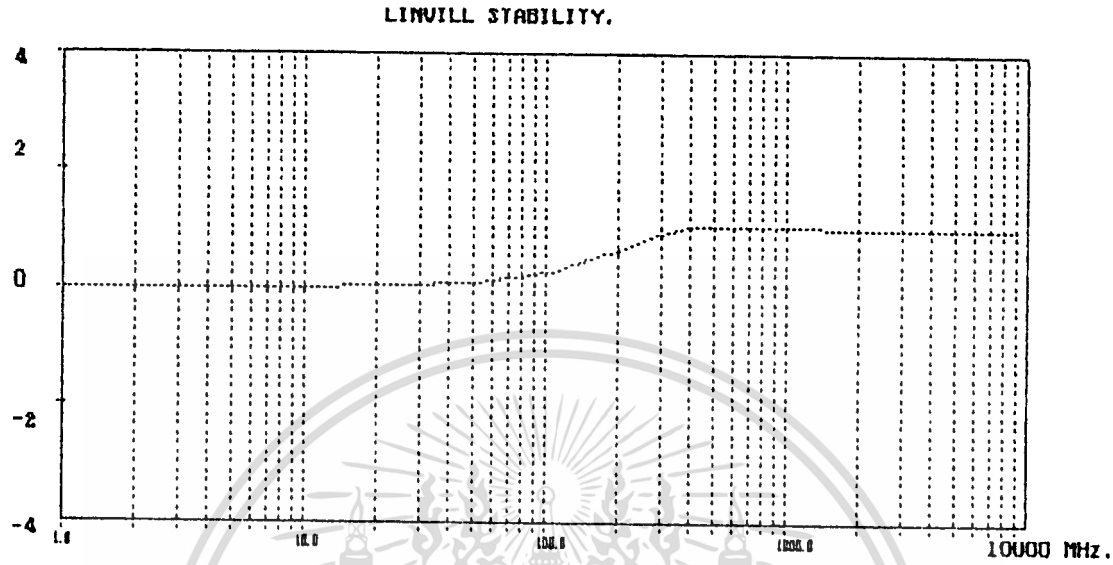
S_{12} = 0.026 ,, 72 ,,

S_{21} = 12.16 ,, 160 ,,

S_{22} = 0.95 ,, -16 ,,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง



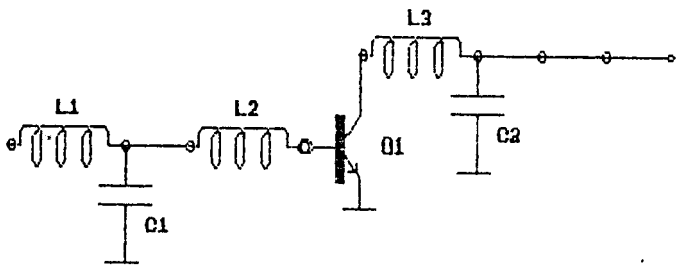
รูปที่ 1 stability วงจร

- วงจรที่มี Matching แบบ L, Lowpass Filter

L1 4.7953964541E-07 C1 7.1573315157E-09
L2 6.5178121048E-10 C2 2.2796145938E-10
L3 1.0977055402E-08

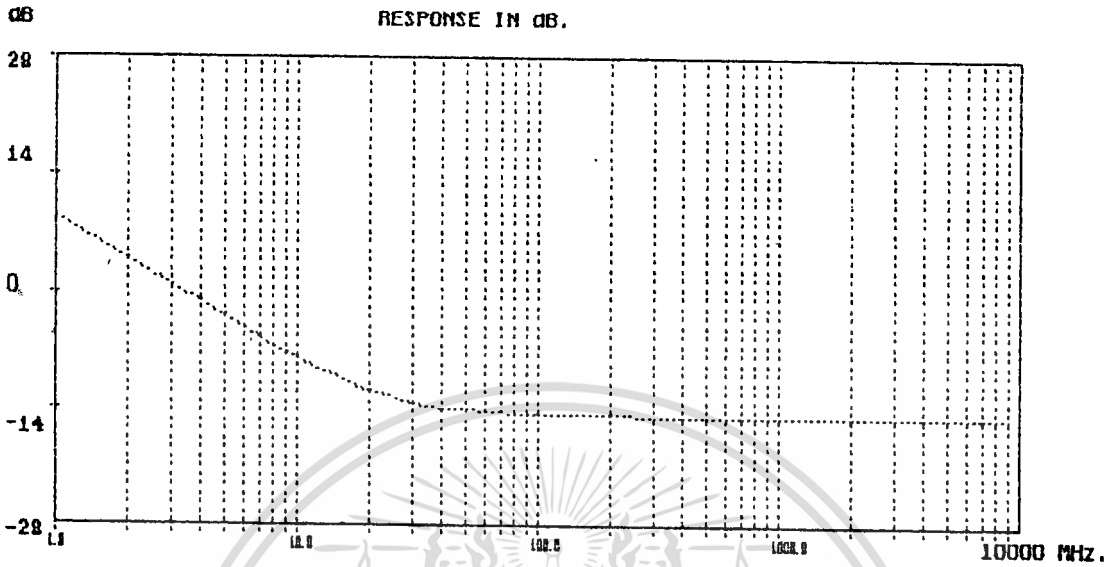
FREQUENCY (Hz):100000000.000
Source(ohm):50.000
Load (ohm):50.000

Vcc(V):5.00 Ic(mA):5.000



รูปที่ 2 lowpass (circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



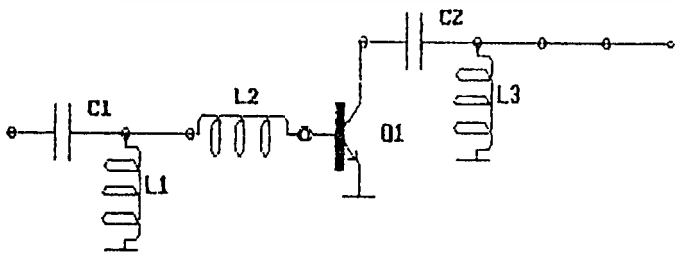
รูปที่ 3 กราฟตอบสนอง lowpass

- Matching แบบ L, High pass filter

L1 3.5390698132E-10 C1 5.2822110024E-12
L2 6.5178121048E-10 C2 2.3407924617E-10
L3 1.1111657198E-08

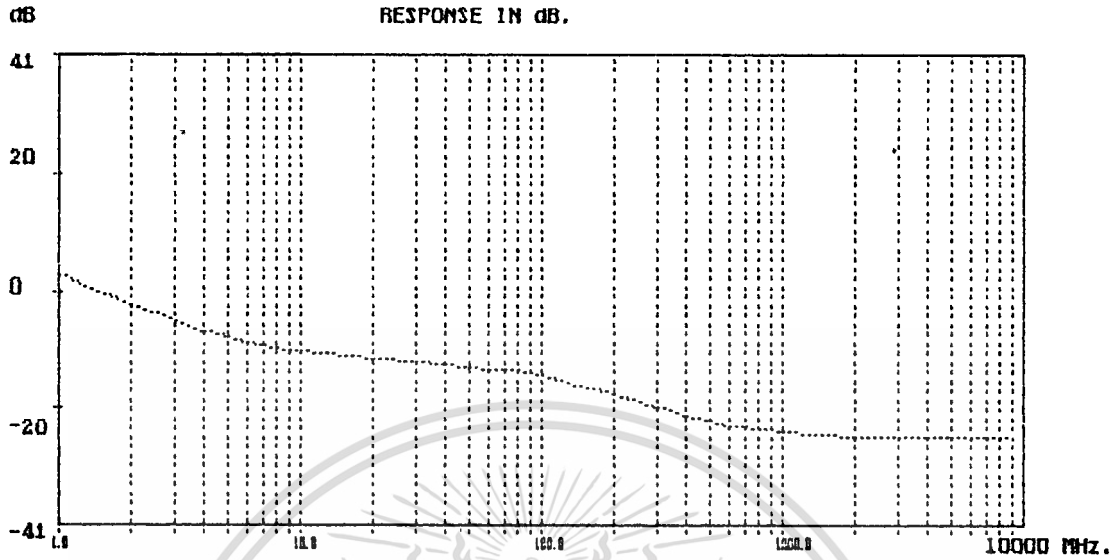
FREQUENCY (Hz):100000000.000
Source(ohm):50.000
Load (ohm):50.000

Vcc(V):5.00 Ic(mA):5.000



รูปที่ 4 high pass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



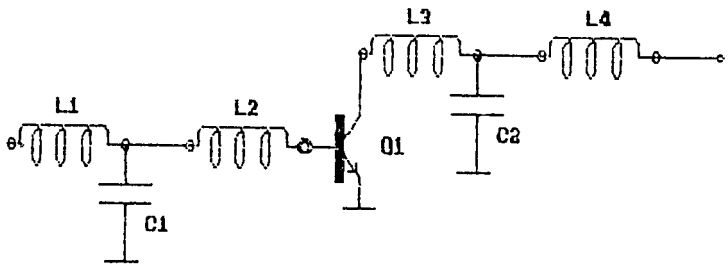
รูปที่ 5 ผลการตอบสนอง

- Matching แบบ T. bandwidth = 5 MHz.

L1 1.5915494309E-06 C1 1.1759893994E-10
L2 4.3517903066E-08 C2 9.2866366911E-11
L3 2.0515572895E-08
L4 2.0667054110E-07

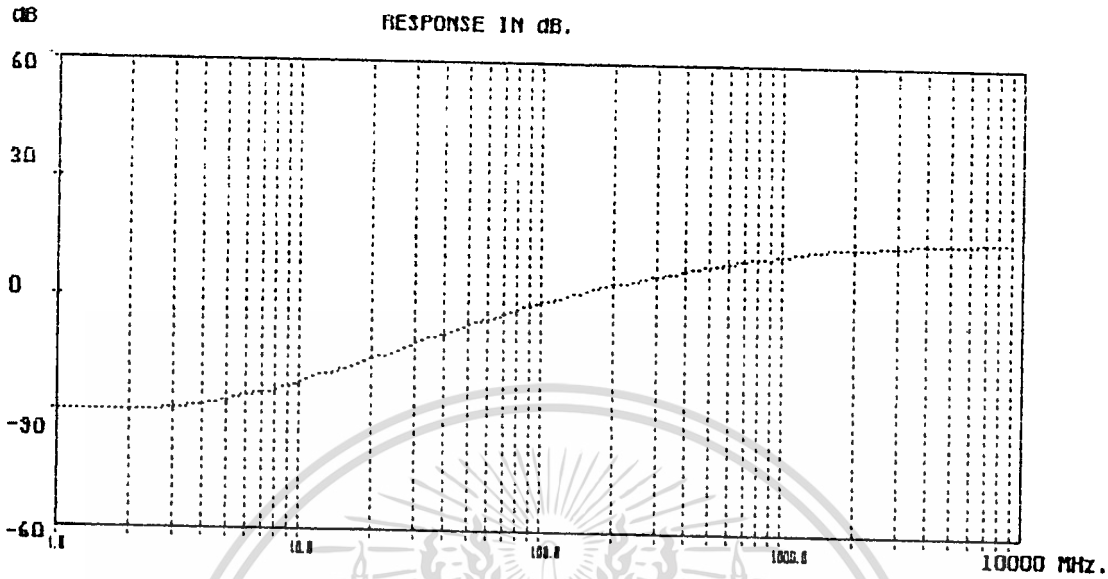
FREQUENCY (Hz):100000000.000
Source(ohm):50.000
Load (ohm):50.000

Vcc(V):5.00 Ic(mA):5.000



รูปที่ 6 วงจรใช้ T-matching.

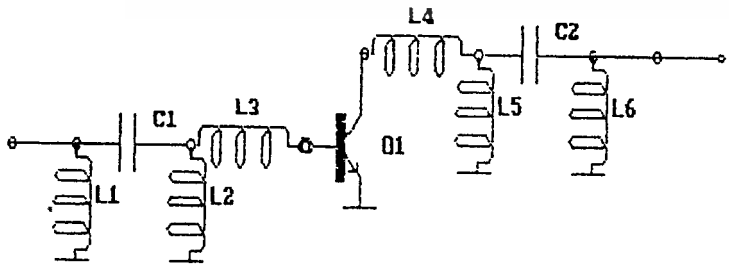
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 ผลการตอบสนอง

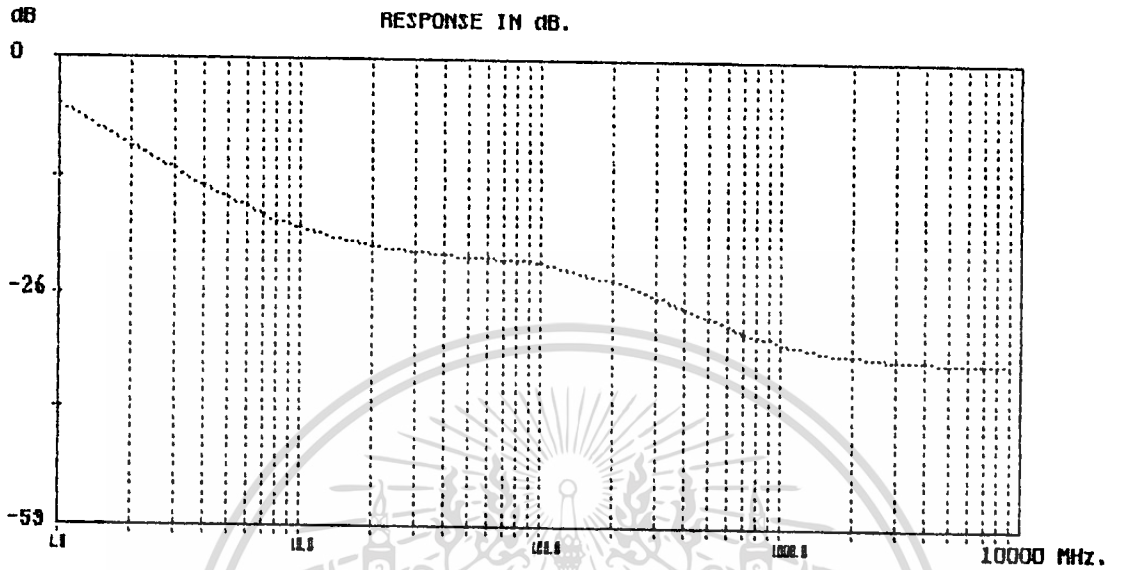
- Matching แบบ Pi bandwidth

```
L1  3.9591271845E-09     C1  3.2148704147E-10
L2  1.0663346361E-10     C2  5.7049328580E-10
L3  6.5178121048E-10
L4  7.7903665750E-11
L5  5.8597109117E-10
L6  3.9788733773E-09

FREQUENCY (Hz):100000000.000
Source(ohm):50.000
Load (ohm):50.000

Vcc(V):5.00     Ic(mA):5.000
```



รูปที่ 8 วงจรใช้ Pi-matching.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 ผลการตอบสนองวงจร

1.2 การออกแบบ RF Amplifier 2 state

ที่ความถี่	100	MHz
อินพุทอิมพีแดนซ์	50	Ω
เอ้าท์พุทอิมพีแดนซ์	50	Ω

พารามิเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวที่ 1, 2 แบบ S

S_{11} = 0.69 มุม -30 องศา

S_{12} = 0.026 ,, 72 ,,

S_{21} = 12.16 ,, 160 ,,

S_{22} = 0.95 ,, -16 ,,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

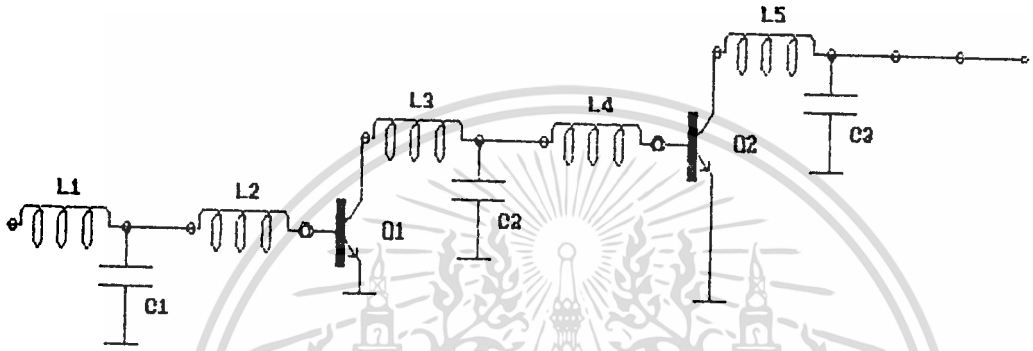
- วงจรที่ใช้ Matching แบบ L Lowpass filter

L1	4.7953964541E-07	C1	7.1573315157E-09
L2	6.5178121048E-10	C2	7.5243765730E-10
L3	1.0420327152E-09	C3	2.2796145938E-10
L4	6.5178121040E-10		
L5	1.0977055402E-08		

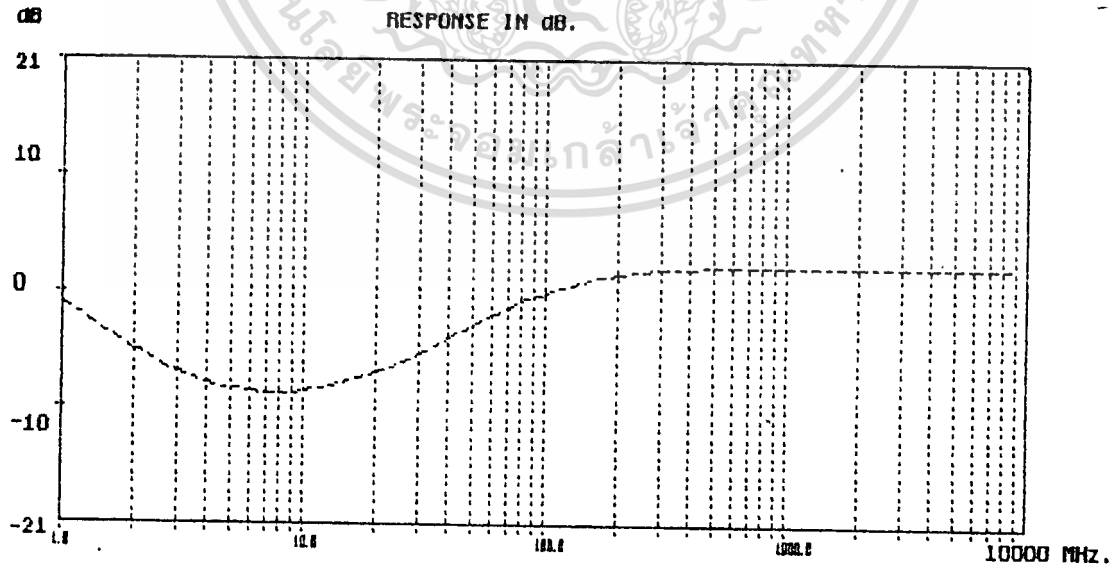
FREQUENCY (Hz):100000000.000
Source(ohm):50.000
Load (ohm):50.000

Vcc(V):5.00 Ic(mA):5.000

Vcc(V):5.00 Ic(mA):5.000



รูปที่ 10 lowpass (circuit)



รูปที่ 11 กราฟตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

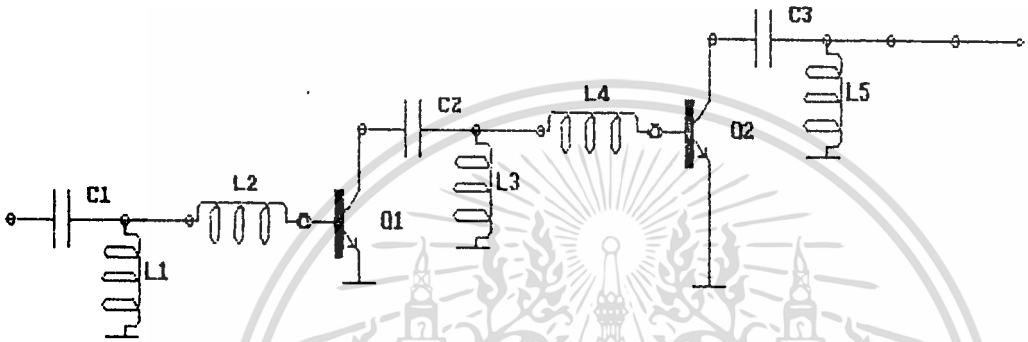
- Matching แบบ L High pass filter

L1	3.5390698132E-10	C1	5.2822110024E-12
L2	6.5178121048E-10	C2	2.8582227926E-09
L3	2.3664311807E-09	C3	2.3407924617E-10
L4	6.5178121048E-10		
L5	1.1111657198E-08		

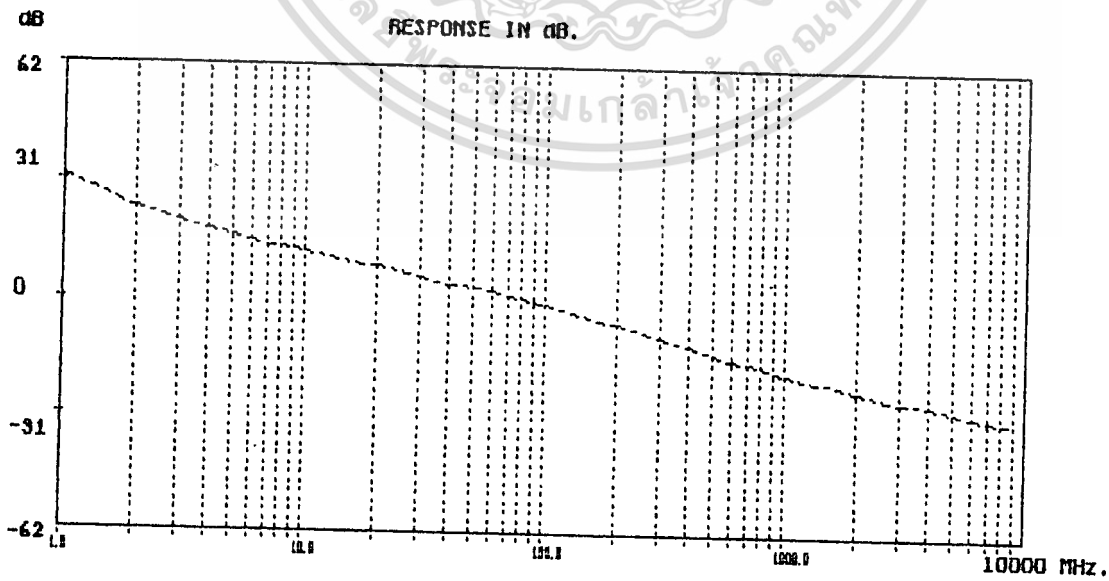
FREQUENCY (Hz):100000000.000
Source(ohm):30.000
Load (ohm):30.000

Vcc(V):5.00 Ic(mA):5.000

Vcc(V):5.00 Ic(mA):5.000



รูปที่ 12 วงจร



รูปที่ 13 ผลการตอบสนองของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

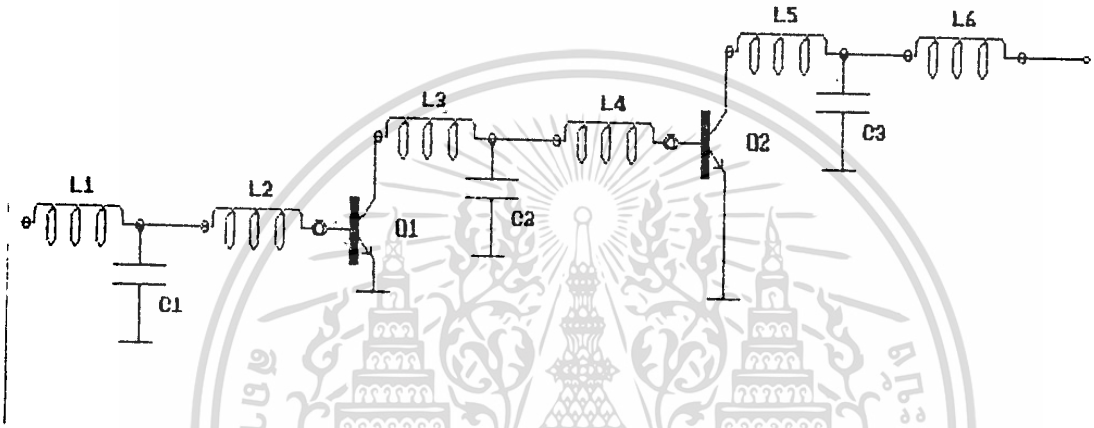
- Matching แบบ T Bandwidth 5 MHz

L1	1.5915494309E-06	C1	1.1759893994E-10
L2	4.3517903066E-08	C2	1.5193693940E-10
L3	2.0515572895E-08	C3	9.2866366911E-11
L4	3.6045000891E-08		
L5	3.0515572895E-08		
L6	2.0667834110E-07		

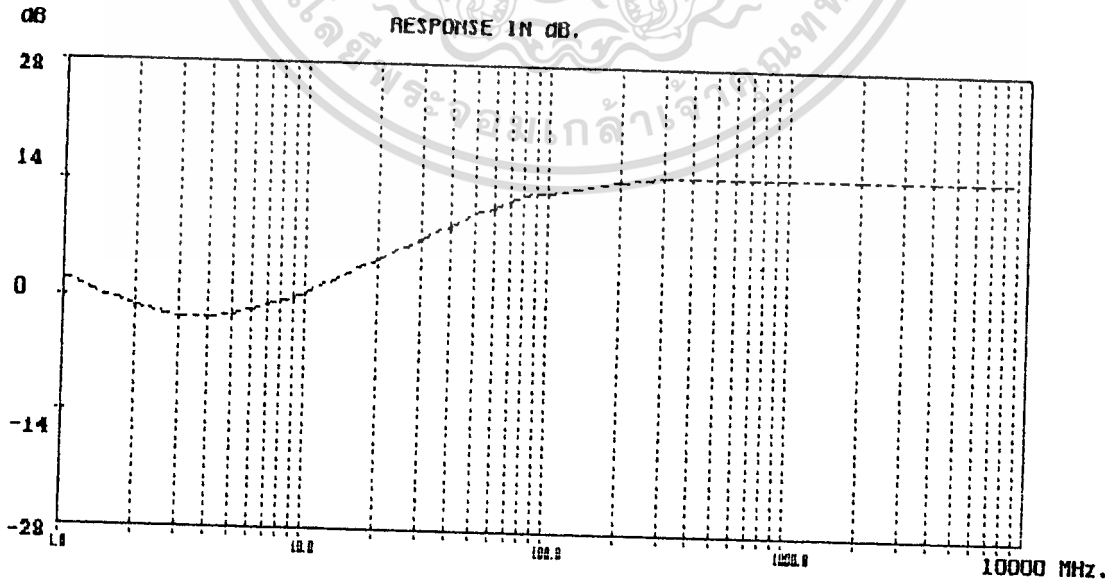
FREQUENCY (Hz):100000000.000
Source(ohm):50.000
Load (ohm):50.000

Vcc(V):5.00 Ic(mA):5.000

Vcc(V):5.00 Ic(mA):5.000



รูปที่ 14 วงจร



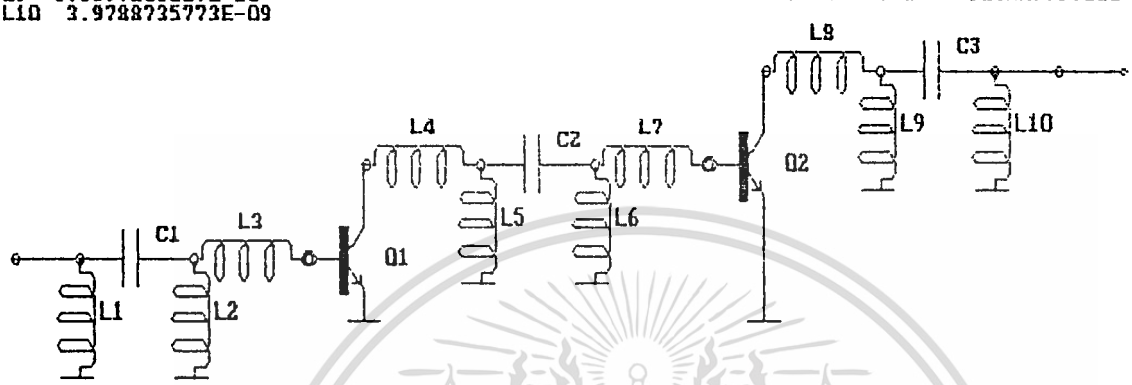
รูปที่ 15 ผลตอบสนองวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

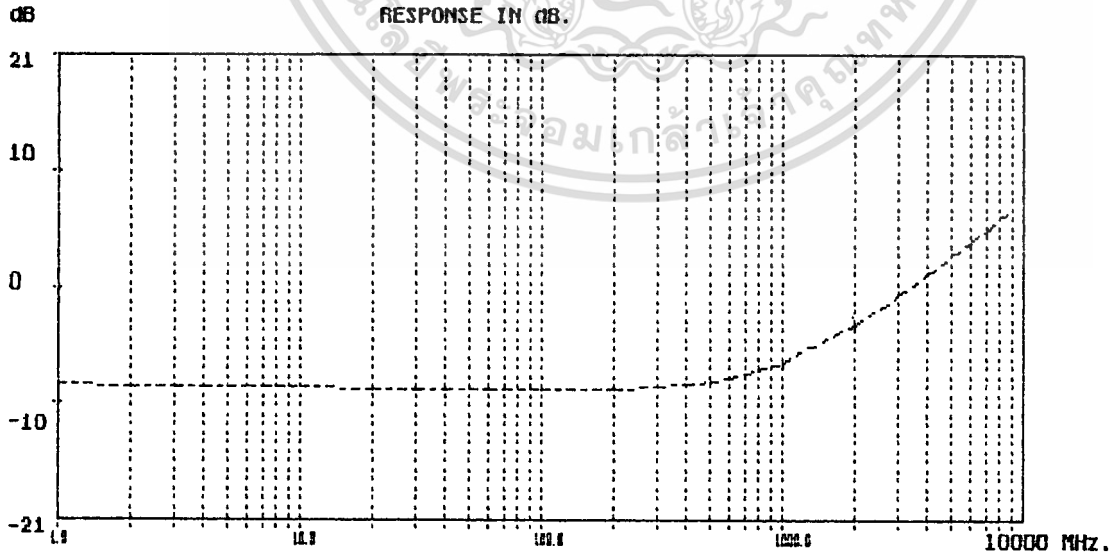
- Matching แบบ Pi Bandwidth 5 MHz

```
L1  3.9591271845E-09      C1  3.2148704147E-10
L2  1.0663346361E-10      C2  1.3011046939E-08
L3  6.5178121048E-10      C3  5.7049328580E-10
L4  7.7903665750E-11
L5  8.9676282063E-11
L6  1.0663346361E-10
L7  6.5178121048E-10
L8  7.7903665750E-11
L9  5.8597103117E-10
L10  3.9788735773E-09
```

```
FREQUENCY (Hz):100000000.000
Source(ohm):50.000
Load (ohm):50.000

Vcc(V):5.00     Ic(mA):5.000

Vcc(V):5.00     Ic(mA):5.000
```



รูปที่ 16 วงจร



รูปที่ 17 ผลตอบสนองของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การออกแบบ Matching แบบต่าง ๆ

2.1 การออกแบบ Matching แบบ L - type lowpass filter

ที่ความถี่ 100 MHz

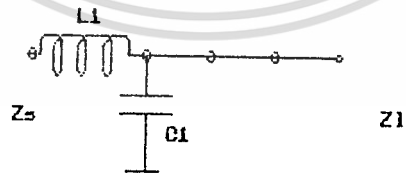
อินพุทอิมพีแดนซ์ 50 Ω

เอ้าท์พุทอิมพีแดนซ์ 75 Ω

ผลการทดลอง

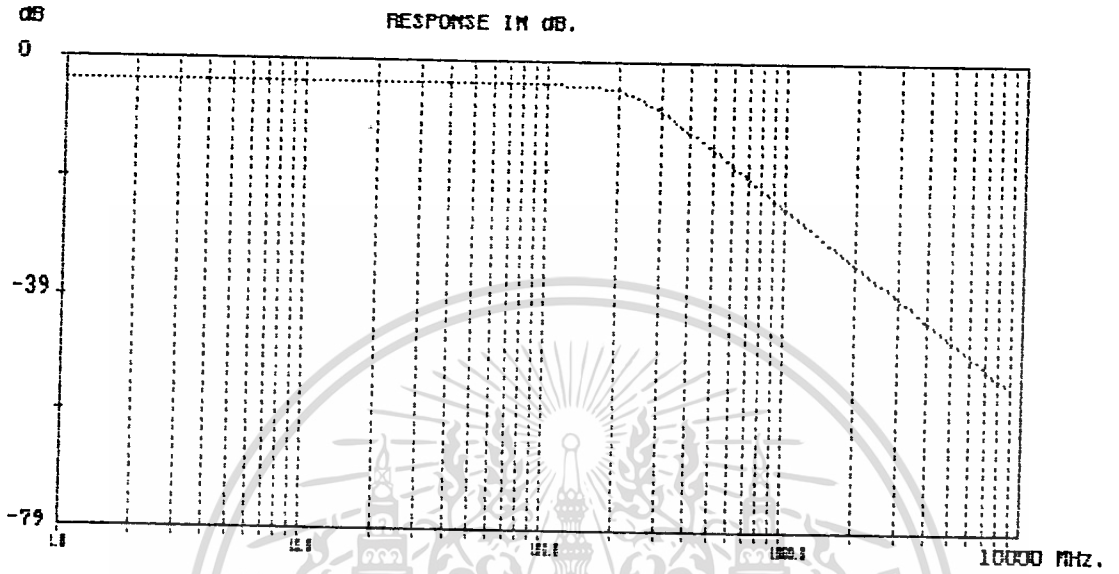
L1 5.6269769760E-08 C1 1.5005271936E-11

FREQUENCY(Hz):100000000.0000
Source: Zs:50.000 j 0.000
Load : Zl:75.000 j 0.000
Matching: 1 Type



รูปที่ 18 วงจร L-matching Low pass.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

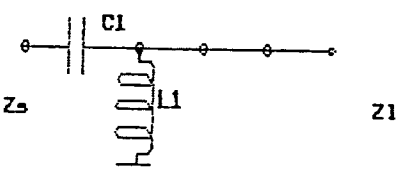


รูปที่ 19 ผลตอบสนองวงจร

2.2 Matching แบบ L-type Highpass filter

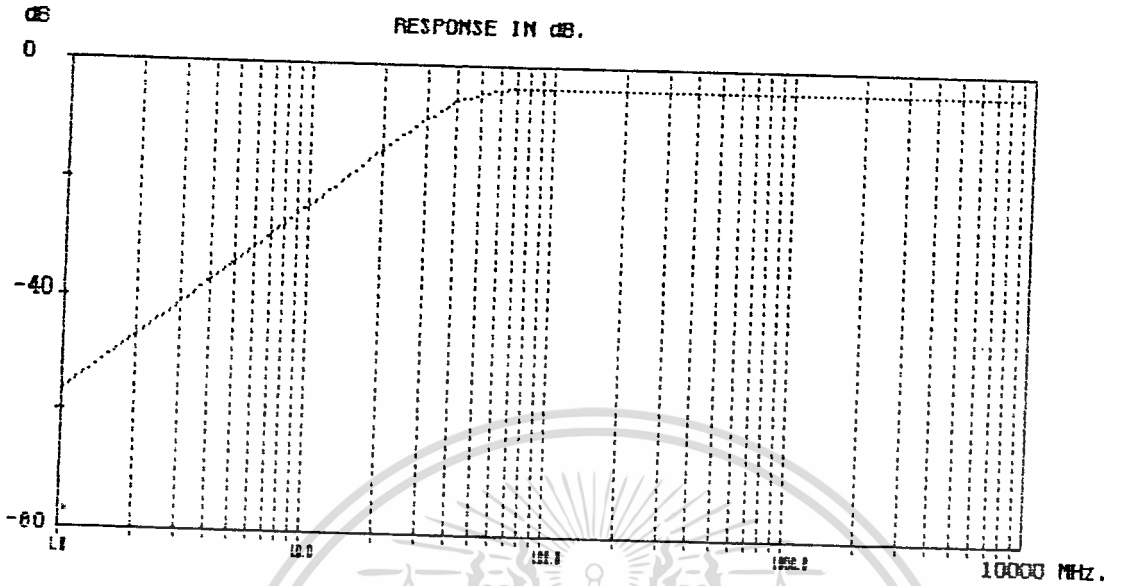
L1 1.6880930928E-07 C1 4.5015815808E-11

FREQUENCY(Hz):100000000.0000
Source: Zs:50.000 j 0.000
Load : Zl:75.000 j 0.000
Matching: L Type



รูปที่ 20 วงจร L-matching high pass.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

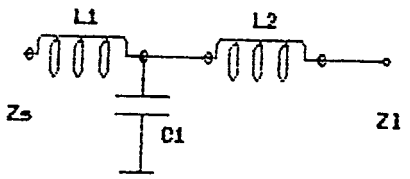


รูปที่ 21 ผลตอบสนองวงจร

2.3 Matching แบบ T -Type bandwidth 10 MHz

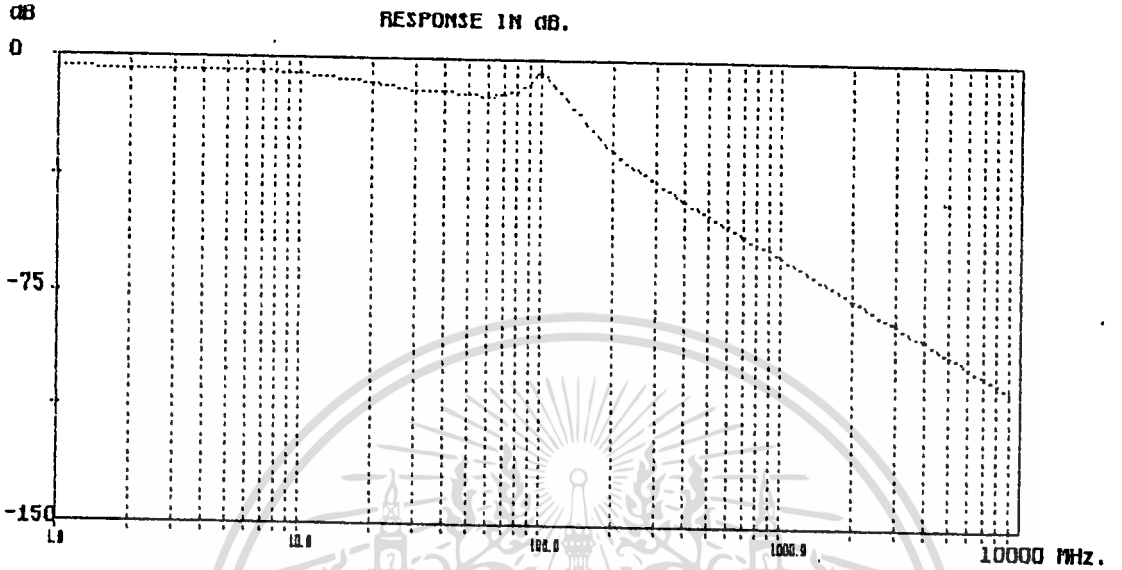
L1 7.9577471546E-07
L2 9.9153018614E-07
C1 5.5496946269E-12

FREQUENCY(Hz):100000000.0000
Source: Zs:30.000 j 0.000
Load : Zl:75.000 j 0.000
Matching: t Type



รูปที่ 22 วงจร T-matching.

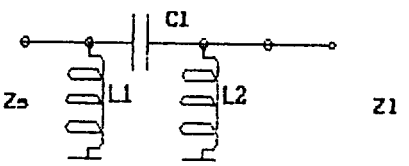
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23 ผลตอบสนองวงจร

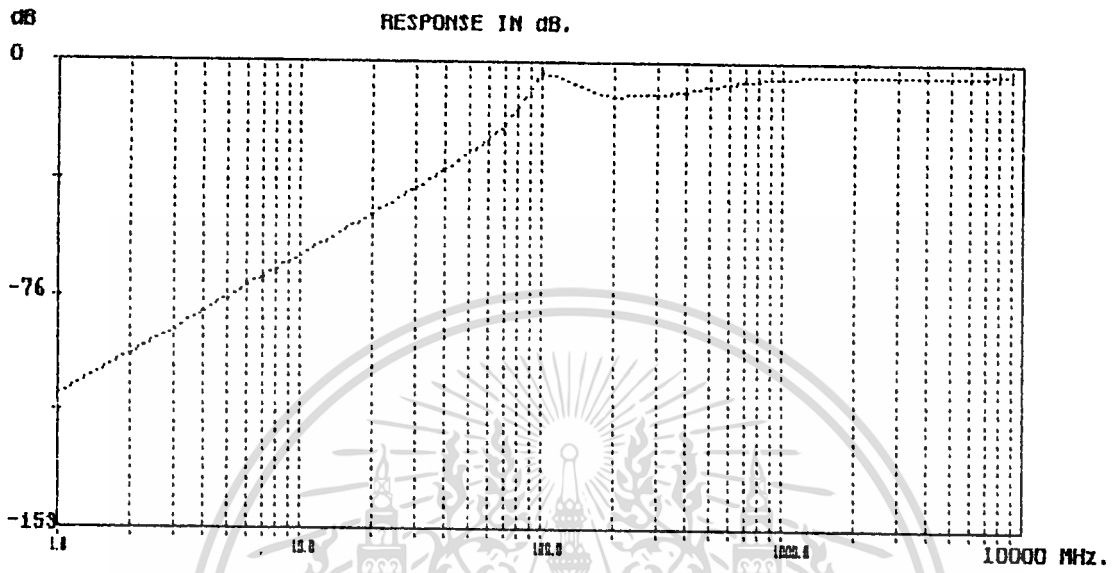
2.4 Matching แบบ Pi-Type bandwidth 10 MHz

L1 9.5800017984E-09 C1 1.2171382446E-10 FREQUENCY(Hz):100000000.0000
L2 1.1936620732E-08 Source: Zs:50.000 j 0.000
Load : Zl:75.000 j 0.000
Matching: p Type



รูปที่ 24 วงจร Pi-matching.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 25 ผลตอบสนองวงจร

* หมายเหตุ ผลตอบสนองของวงจรพิจารณาจาก two port network ซึ่งผลรวมของวงจรอาจเป็น L,หรือ C ก็ได้ ซึ่งใช้ F- Matrix พิจารณาหาอัตราส่วนของ voltage output ต่อ input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทสรุป

โปรแกรมช่วยในการออกแบบวงจรขยายย่านความถี่สูงหรือ S-CAD ได้พัฒนาขึ้นเป็น version แรก ซึ่งนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านความถี่สูง โดยจะช่วยทำให้เกิดความรวดเร็วและไม่มีข้อผิดพลาดในการออกแบบ ในการออกแบบได้ใช้โปรแกรมภาษาปาสคาลโดยแบ่งเป็น Module เพื่อง่ายแก่การพัฒนาโปรแกรมอีกต่อ ๆ ไป ซึ่งการออกแบบมีผลดีผลเสียดังนี้

ผลดีของโปรแกรม ปาสคาลที่ใช้ออกแบบ

- ทำให้เกิดความง่ายแก่การศึกษาเพื่อพัฒนาโปรแกรมต่อไป
- ง่ายแก่การเพิ่มขีดความสามารถของโปรแกรม
- โปรแกรมสามารถแยกเป็นยูนิต (unit) ทำให้ตรวจสอบง่าย
- ส่วนแสดงผลทางด้านกราฟฟิคทำได้ง่าย

ผลเสียของโปรแกรมปาสคาลที่ใช้ออกแบบ

- โปรแกรมระดับสูงทำงานช้า
- ในการคำนวณเมื่อเกิด overflow โปรแกรมจะหยุดทำงาน
- บางครั้งมีข้อผิดพลาดในการคำนวณ
- ใช้จำนวนหน่วยความจำมาก ในการเก็บภาพ

จากผลดีและผลเสียเหล่านี้ตลอดจนขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในส่วนต่างๆนี้คงเป็นประโยชน์และแนวทางในการดำเนินการพัฒนาต่อไปเพื่อให้เป็น CAD. ที่สมบูรณ์ต่อไป.

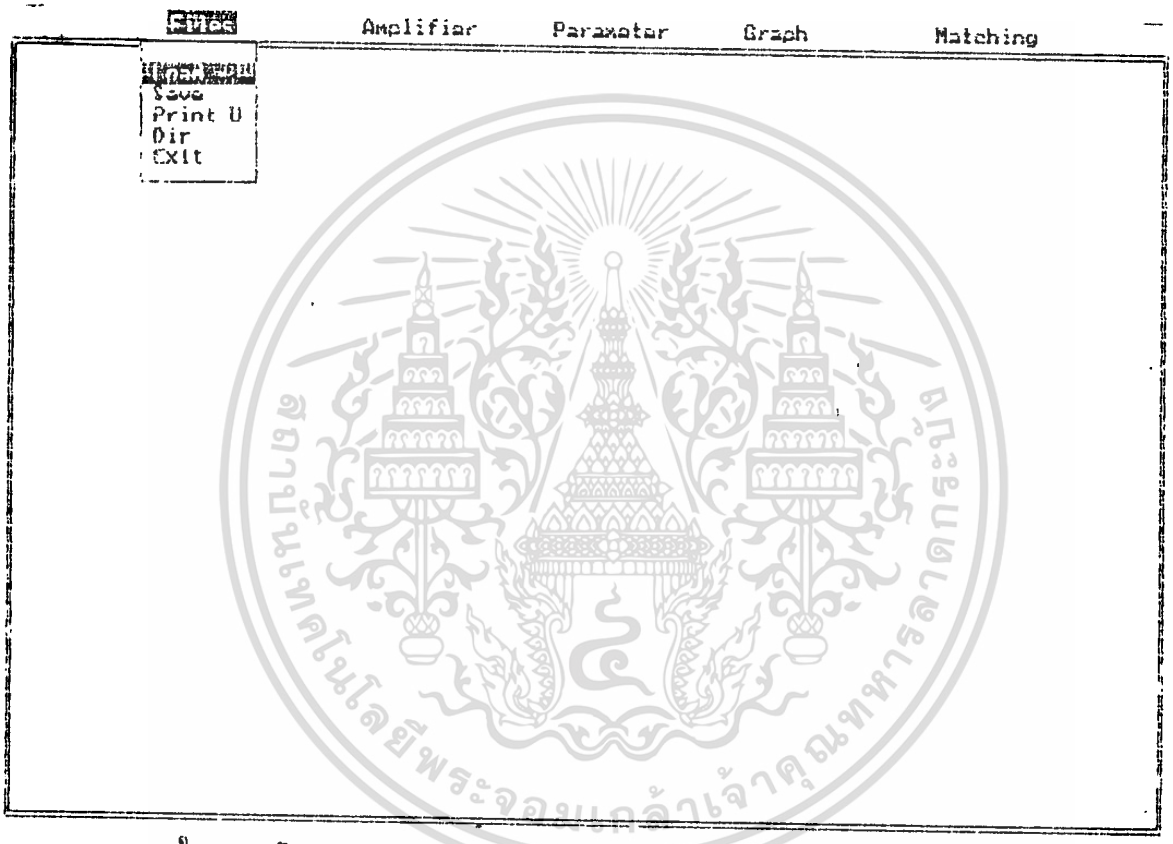
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน S-CAD. 1.00

โปรแกรม S-CAD. มีโครงสร้างของโปรแกรมเป็นแบบโมดูล ดังนั้นจึงจัดเป็น menu ในการเลือกใช้งานเพื่อง่ายแก่การเข้าใจดังรูป ซึ่งทำให้เราทราบว่ากำลังอยู่ในขั้นตอนใด โดยจะแสดงเป็นตัวอักษรอินเวอร์สดังรูปที่ 1



ในการเลือกการทำงานจะเลือกโดยการใช้คีย์ ลูกศร กับคีย์ รีเทอร์น หรือกดคีย์อักษรตัวแรกเมื่ออยู่ในรายการนั้นๆ

ส่วนรายการของ Files

- Load เป็นส่วนที่จะโหลด ไฟล์ ข้อมูล ใน disk. มาแสดงผลหน้าจอ
- Save เป็นส่วนเก็บวงจรที่ออกแบบไว้ลง disk.
- Print เป็นการพิมพ์วงจรออกทาง Printer.
- Dir เป็นการแสดง Directory ใน Disk.
- Exit ออกจากโปรแกรม S-CAD.

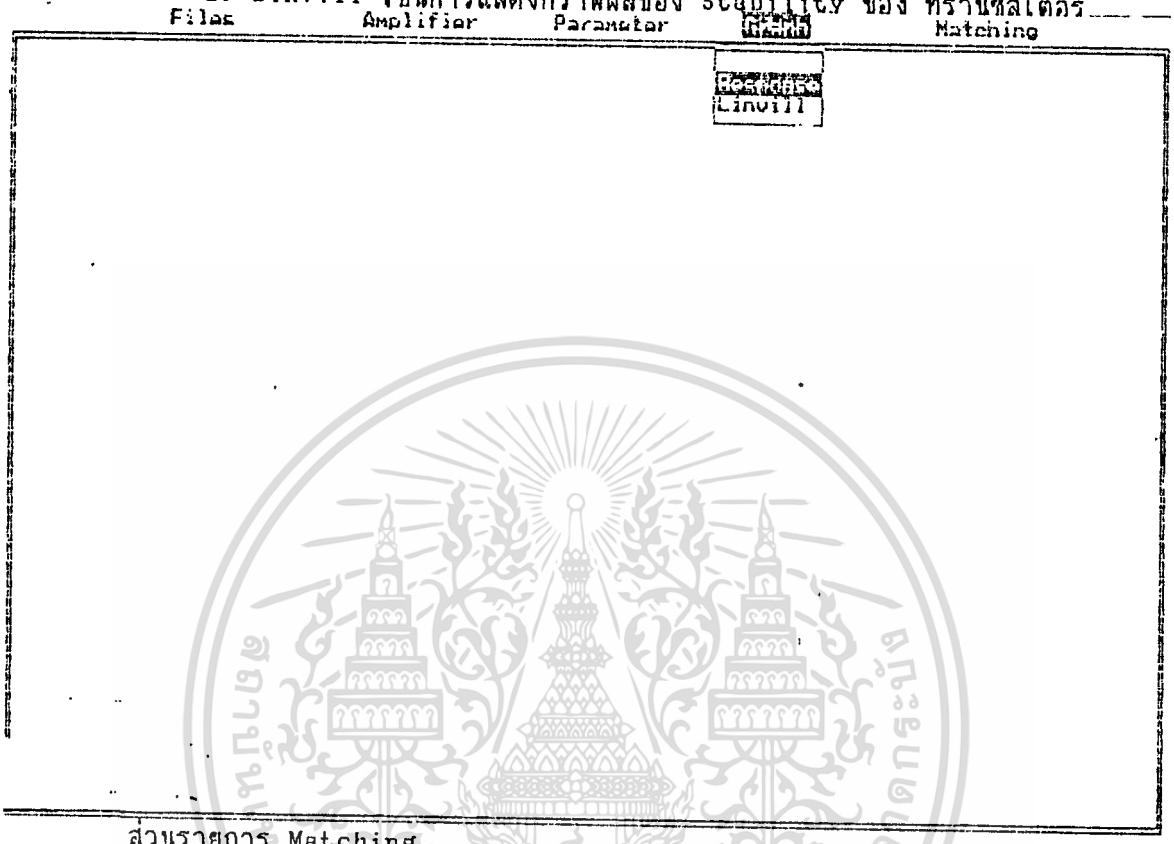
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนรายการของ Graph

แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

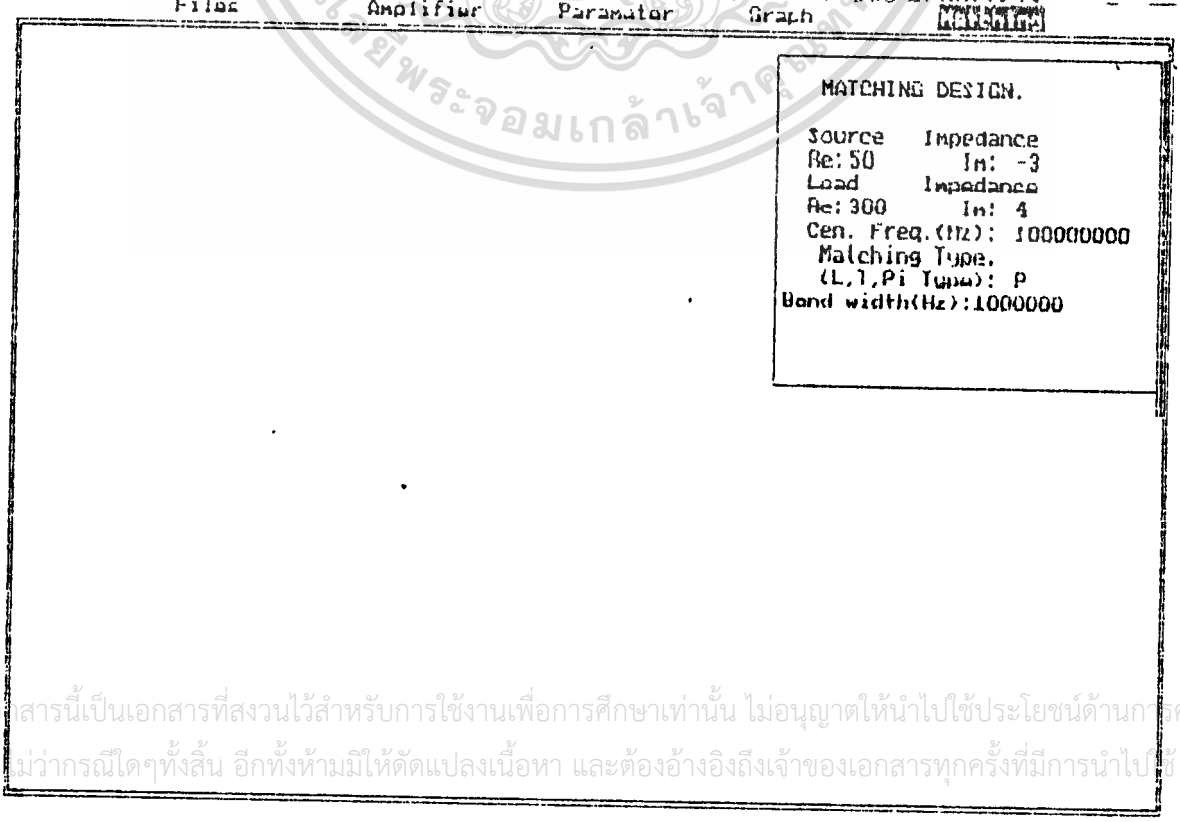
1. Reponse เป็นการแสดงกราฟผลตอบสนองของวงจร

2. Linvill เป็นการแสดงกราฟผลของ Stability ของ ทรานซิสเตอร์



ส่วนรายการ Matching.

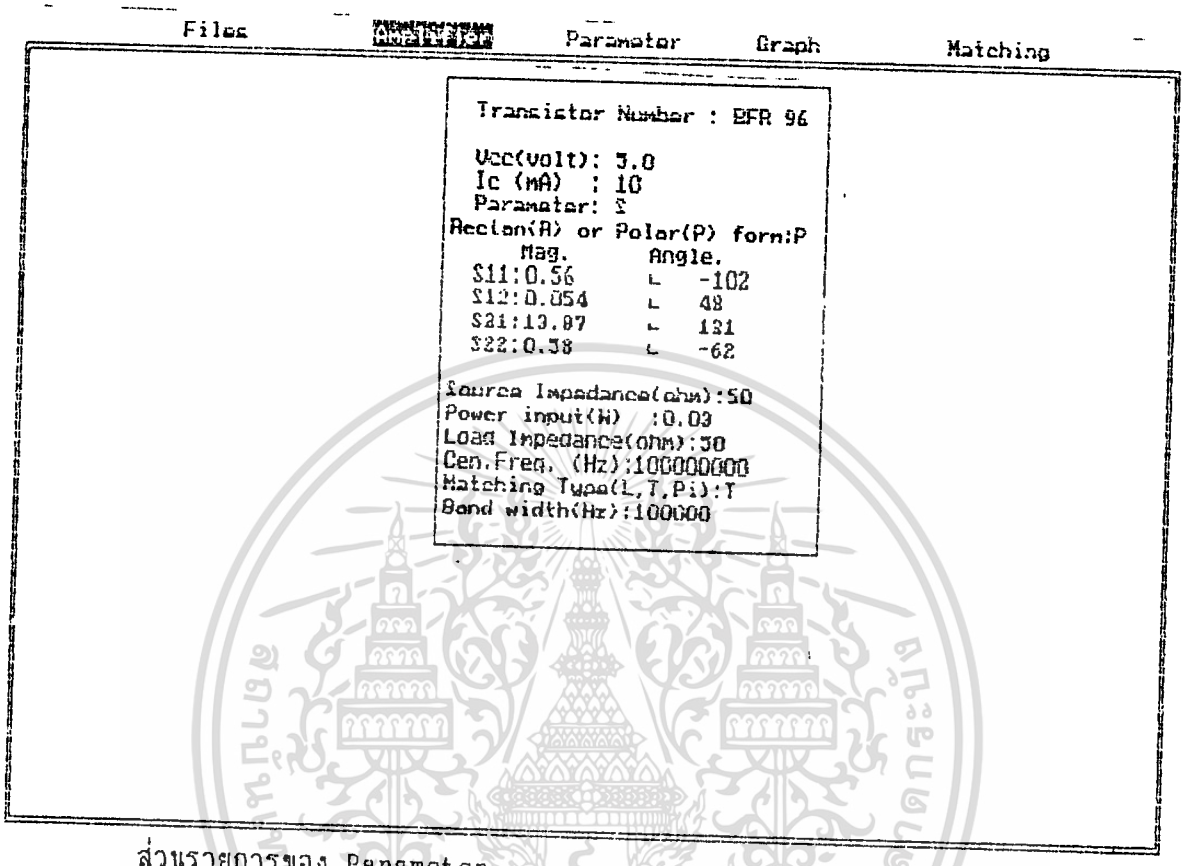
เป็นส่วนการหาวงจรแมชชิ่ง แบบต่างๆโดยการป้อนค่าตามตาราง



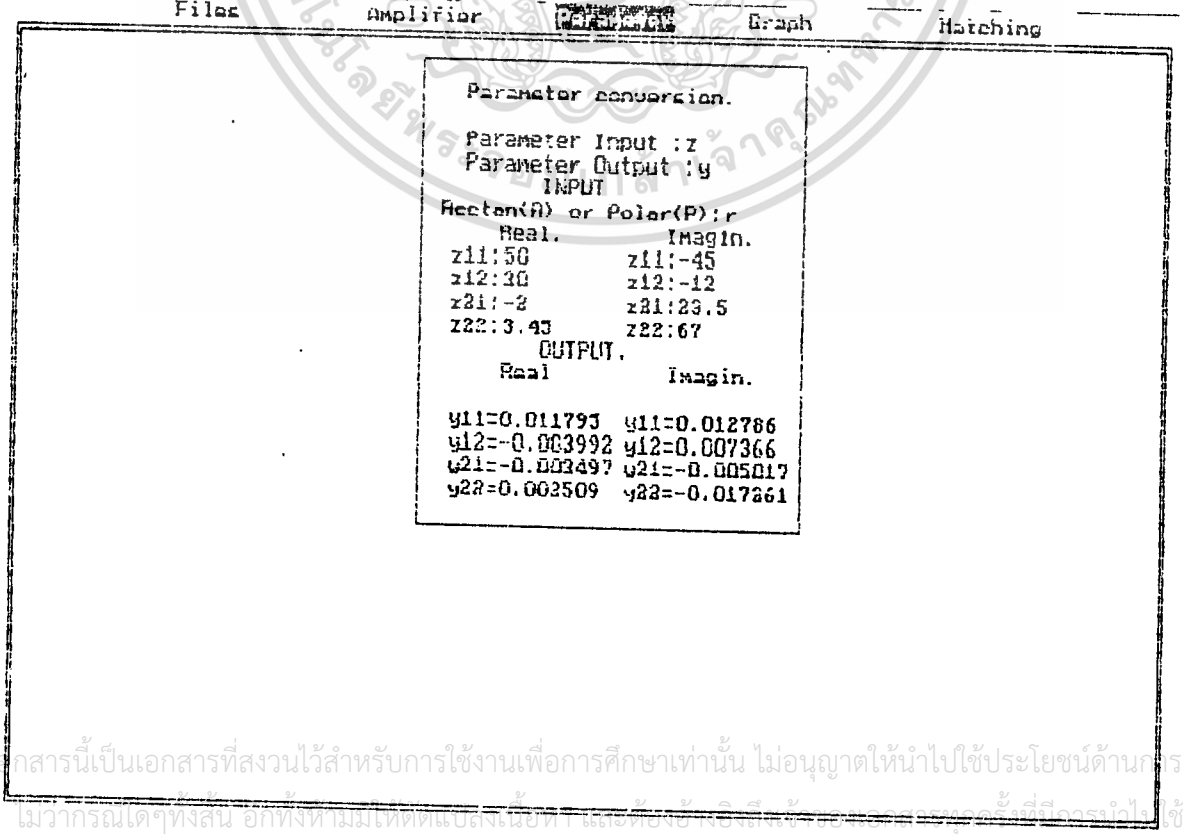
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนรายการของ Files

เป็นส่วนการออกแบบวงจร R.F Amplifier โดยการป้อนค่า Parameter ต่างๆ ลงไป



ส่วนรายการของ Parameter

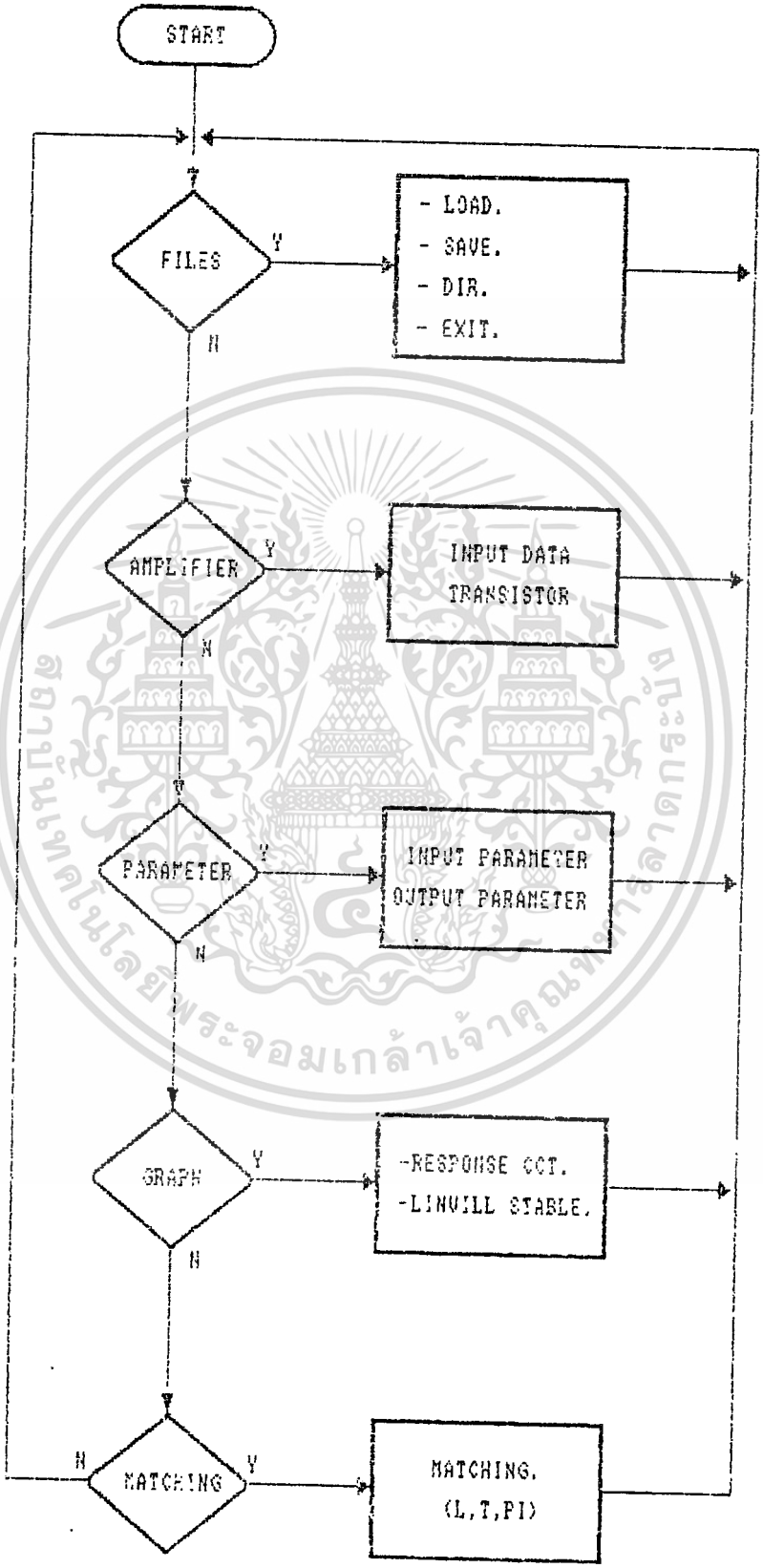


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

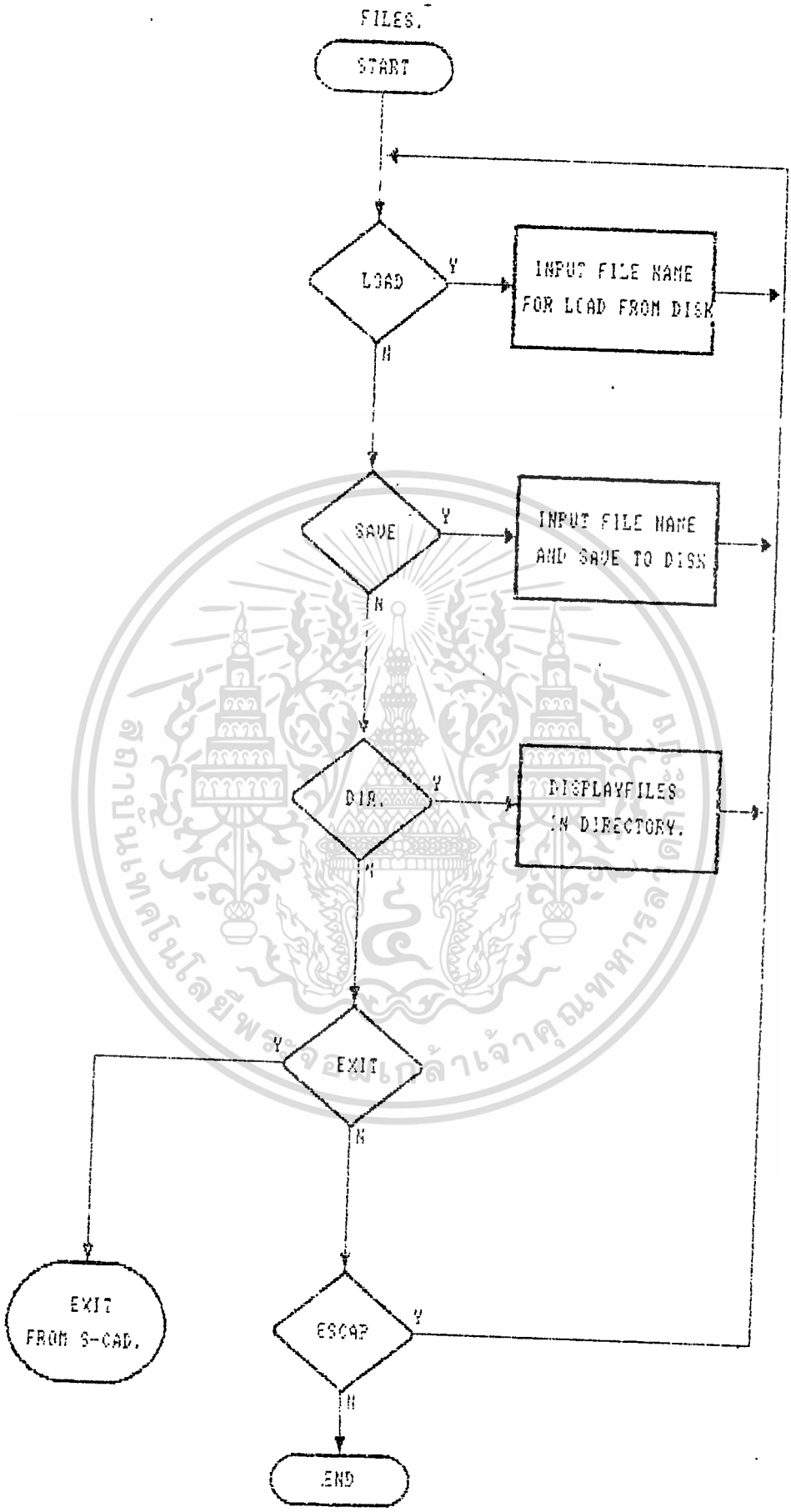
** เมื่อกด Key U ไม่ว่าจะอยู่รายการใด จะเป็นการพิมพ์ภาพออกทาง Printer แล้วกด Shift+F1 ภาพจะถูกส่งออกไปพิมพ์ ถ้าไม่ต้องการพิมพ์ ให้กด F1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

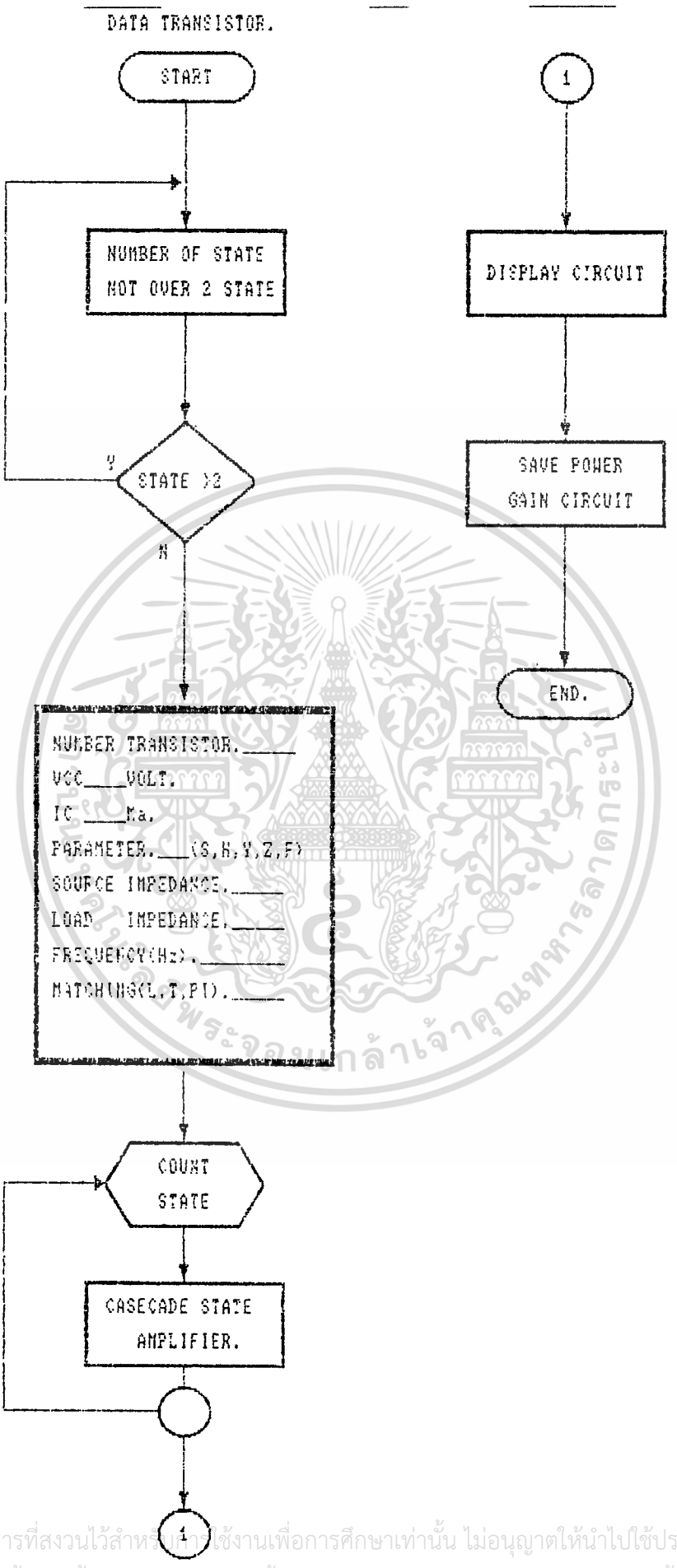
S-CAD 1.00



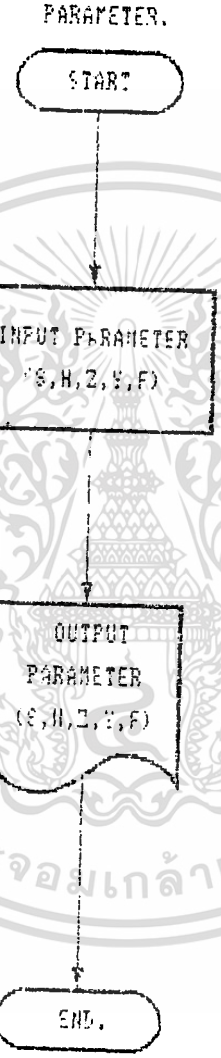
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

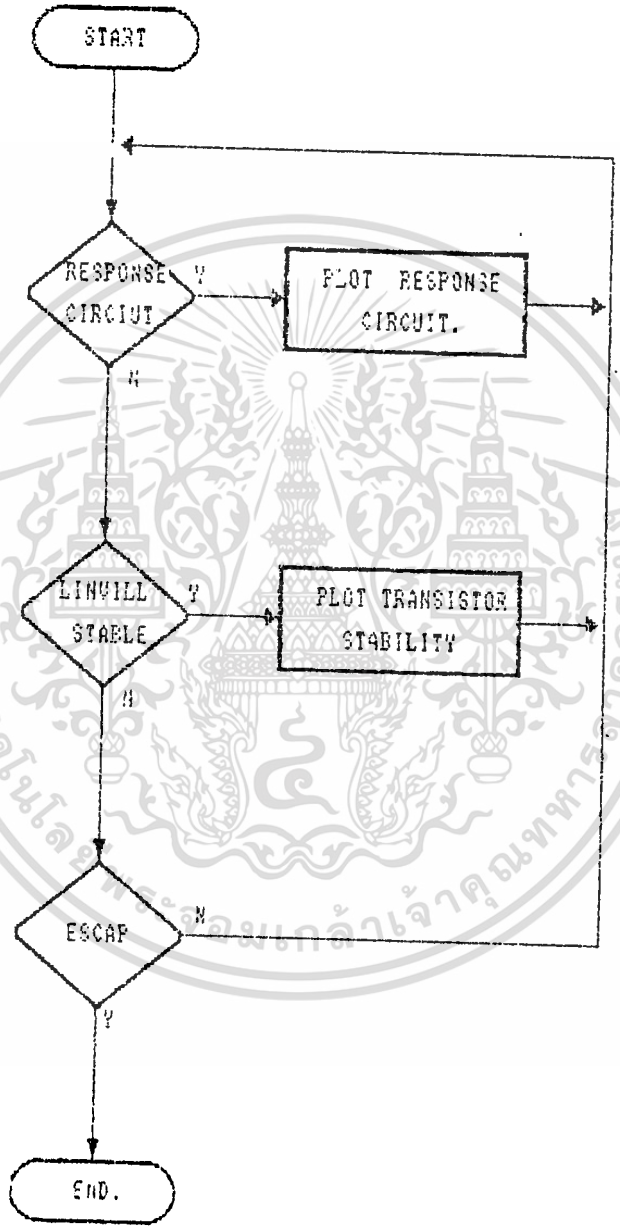


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



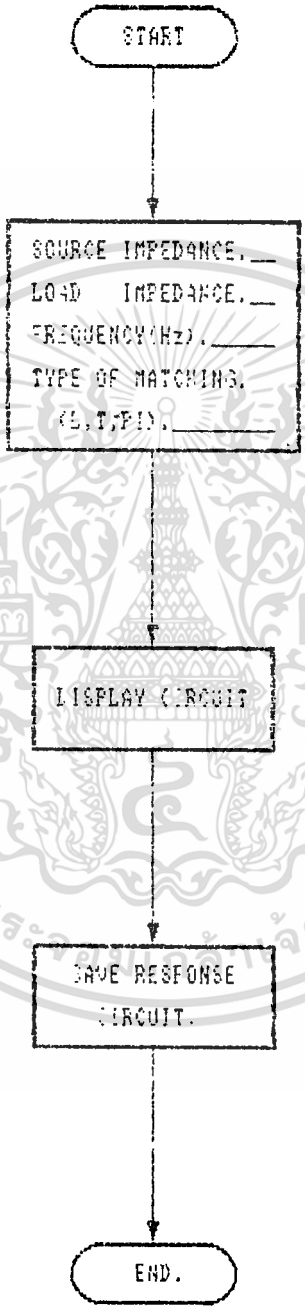
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GRAPH.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MATCHING.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          PROGRAM SCAD;
{*********************************************************}
{ Program : S-CAD. (Solve by Computer Aided Design.     }
{*********************************************************}
USES crt,dos,graph,ucad1,transfer,picture;
TYPE strg=array[1..25]of string;
     character=array[1..25]of char;
     arr=array[1..36]of real;
     igt=array[1..36]of integer;
     tr=array[1..25] of real;
     data=record
            gi,bi,gr,br:tr;
            gf,bf,go,bo:tr;
              vcc,ic:tr;
      state,fro,bw,so,lo:real;
              ch,chlh:char;
               chec :integer;
          end;
    filese=file of data;

CONST
   menu:array[1..5] of string=('Files','Amplifier',
                               'Parameter','Graph','Matching');
VAR         x1,x2,y1,y2:integer;
            p0,p1,p2,p:pointer;
           lin,x,y,i,j:integer;
ii0,ii1,ii2,ii3,checfile:integer;
      co,h,w,step,resp:integer;
            size,key:word;
               st  :string;
           ga,vcc,ic:tr;
    mat1,mat2,mat3,zs,zl:tr;
  xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo:tr;
  gsource,bsource,gload,bload:tr;
        chmat,chpass,chpa:character;
  so,po,lo,fro,bw,xs,ys,xl,yl:real;
ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4:real;
            max,min,state:real;
              number,sst:string;
                       b:boolean;
             gi,gr,gf,go:arr;
             bi,br,bf,bo:arr;
             i1,r1,f1,o1:arr;
             i2,r2,f2,o2:arr;
                gp,gpdb:arr;
              filesave:filese;
                 datas:data;
           chm,chp,chld:char;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure title;
{*****************************************************}
{               Display title                       }
{*****************************************************}
     begin
          window(200,50,520,200);rectangle(0,0,320,150);
          settextstyle(1,0,3);outtextxy(100,10,'S-CAD. 1.0');
          settextstyle(0,0,1);outtextxy(80,60,'KINGMONGKUT LADKRABANG.');
          outtextxy(70,100,'INDUSTRIAL TECHNOLOGY Dept.');
          outtextxy(55,80,'TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY.');
          outtextxy(100,120,'FACULTY OF ENGINEER.');
          repeat until keypressed;
          clearviewport;window(0,0,getmaxx,getmaxy);
      end;
procedure subprint;
{*****************************************************}
{ Program : Print circuit and response to printer.    }
{*****************************************************}
  var prt :pointer;
      size:word;
      begin
           size:=imagesize(0,0,719,12);
           getmem(prt,size);
           getimage(0,0,719,12,prt^);
           window(0,0,719,12);clearviewport;
           window(0,0,719,12);
           outtextxy(200,2,'PRESS KEY SHIFT F1 FOR PRINT');
           line(4,14,719,14);
           repeat until keypressed;clearviewport;prts;
           putimage(0,0,prt^,0);
           freemem(prt,size);
      end;
procedure putdata(keyselec:char);
{*****************************************************}
{ Program : Receive data from key board               }
{ Input   : Amplifier,Parameter and Matching          }
{*****************************************************}
       var  P,Q,mag,gio,g:real;
                    xx,y:igt;
              pox,poy,i,j:integer;
               nl,nc,poyl:integer;
                    pdata:pointer;
                    sized:word;
{*****************************************************}
{ Program : putdata   for design.                     }
{*****************************************************}
procedure datatransistor(var ga,vcc,ic,so,po,lo,fro,bw,xi,yi,
                         xr,yr,xf,yf,xo,yo:real;var ca,ch,cass:char;
                         num :string;selec:char);
 var pr,mat,pass,pa:string;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    procedure tablerectan;
            begin
                outtextxy(50,70,'Real.        Imagin.');
                outtextxy(20,80,pa+'11:');outtextxy(130,80,pa+'11:');
                outtextxy(20,90,pa+'12:');outtextxy(130,90,pa+'12:');
                outtextxy(20,100,pa+'21:');outtextxy(130,100,pa+'21:');
                outtextxy(20,110,pa+'22:');outtextxy(130,110,pa+'22:');
                charactonumber(xi,53,80);charactonumber(yi,162,80);
                charactonumber(xr,53,90);charactonumber(yr,162,90);
                charactonumber(xf,53,100);charactonumber(yf,162,100);
                charactonumber(xo,53,110);charactonumber(yo,162,110);
            end;
   procedure tablepolar;
            begin
                outtextxy(50,70,'Mag.      Angle.');
                outtextxy(20,80,pa+'11:');outtextxy(130,80,chr(28));
                outtextxy(20,90,pa+'12:');outtextxy(130,90,chr(28));
                outtextxy(20,100,pa+'21:');outtextxy(130,100,chr(28));
                outtextxy(20,110,pa+'22:');outtextxy(130,110,chr(28));
                charactonumber(xi,53,80);charactonumber(yi,162,80);
                charactonumber(xr,53,90);charactonumber(yr,162,90);
                charactonumber(xf,53,100);charactonumber(yf,162,100);
                charactonumber(xo,53,110);charactonumber(yo,162,110);
                polarrec(xi,yi,xi,yi);polarrec(xr,yr,xr,yr);
                polarrec(xf,yf,xf,yf);polarrec(xo,yo,xo,yo)
            end;
procedure lmatching(x,y:integer);
        begin
         repeat
         outtextxy(x,y,'Low or High pass:');
         b:=false;
         chardisplay(x+145,y,pass);
         if (pass='L')or(pass='l') then begin b:=true;cass:='L'end;
         if (pass='H')or(pass='h') then begin b:=true;cass:='H'end;
         until b=true;
        end;
procedure bandwidth(x,y:integer);
        begin
            outtextxy(x,y,'Band width(Hz):');
            charactonumber(bw,x+120,y)
        end;
 procedure para(x,y:integer);
  begin
    repeat
      chardisplay(x,y,pa);
      b:=false;
       if( pa='Y')or(pa='y') then begin b:=true;ca:='Y'end;
       if (pa='S')or(pa='s') then begin b:=true;ca:='S'end;
       if (pa='H')or(pa='h') then begin b:=true;ca:='H'end;
       if (pa='Z')or(pa='z') then begin b:=true;ca:='Z'end;
       if (pa='F')or(pa='f') then begin b:=true;ca:='F'end;
   until b=true;
 end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure Recpolar(x,y:integer);
    begin
     repeat
       chardisplay(x,y,pr);
       b:=false;
         if (pr='R')or(pr='r') then begin b:=true ;tablerectan end;
         if (pr='P')or(pr='p') then begin b:=true ;tablepolar  end;
     until b=true;
    end;
 procedure mattype(x,y:integer);
    begin
     repeat
     b:=false;
     chardisplay(x,y,mat);
     if (mat='L')or(mat='l') then
                    begin b:=true;lmatching(5,y+10) ;ch:='L' end;
     if (mat='T')or(mat='t') then
                    begin b:=true;bandwidth(5,y+10) ;ch:='T' end;
     if (mat='P')or(mat='p') then
                    begin b:=true;bandwidth(5,y+10) ;ch:='P' end;
     until b=true;
     end;
  procedure datatransistoramp;
  {******* DATA TRANSISTOR **********}
  begin
     window(getmaxx div 3,20,(getmaxx div 3)*2,220);
     clearviewport;window(getmaxx div 3,20,(getmaxx div 3)*2,220);
     rectangle(0,0,(getmaxx div 3),200);
     outtextxy(20,10,'Transistor Number :');
     outtextxy(20,30,'Vcc(volt):');
     outtextxy(20,40,'Ic (mA)  : );
     outtextxy(20,50,'Parameter:');
     outtextxy(5,60,'Rectan(R) or Polar(P) form:');
     chardisplay(180,10,num);
     charactonumber(vcc,108,30);
     charactonumber(ic,108,40);
     para(108,50);
     recpolar(220,60);
     if co =1 then
      begin
         outtextxy(5,130,'Source Impedance(ohm):');
         outtextxy(5,140,'Power input(W)  :');
         outtextxy(5,150,'Load Impedance(ohm):');
         outtextxy(5,160,'Cen.Freq. (Hz):');
         outtextxy(5,170,'Matching Type(L,T,Pi):');
         charactonumber(so,181,130);
         charactonumber(po,141,140);
         charactonumber(lo,165,150);
         charactonumber(fro,124,160);
         mattype(181,170);
      end;
    clearviewport;window(0,0,getmaxx,getmaxy);
end;{***** DATA TRANSISTOR **********}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure parameterconverse;
{**** DATA  PARAMETER CONVERSION. *****}
var bu:string;
begin
     window(getmaxx div 3,20,(getmaxx div 3)*2,220);
     clearviewport;window(getmaxx div 3,20,(getmaxx div 3)*2,220);
     rectangle(0,0,(getmaxx div 3),200);
     outtextxy(20,10,' Parameter conversion.');
     outtextxy(20,30,' Parameter Input :');
     outtextxy(20,40,' Parameter Output :');
     outtextxy(5,60,' Rectan(R) or Polar(P):');
     outtextxy(20,50,'       INPUT ');
     para(165,30);
     bu:=pa;
     cass:=ca;
     para(173,40);
     number:=pa;
     pa:=bu;
     recpolar(190,60);
end;{******* DATA  PARAMETER. *********}
procedure datamatching;
{**** DATA MATCHING *****}
begin
     window((getmaxx div 3)*2,20,((getmaxx div 3)*3)-2,160);
     clearviewport;
     window((getmaxx div 3)*2,20,((getmaxx div 3)*3)-2,160);
     rectangle(0,0,(getmaxx div 3),140);
     outtextxy(20,10,' MATCHING DESIGN.');
     outtextxy(20,30,'Source   Impedance');
     outtextxy(20,40,'Re:          Im:');
     outtextxy(20,50,'Load     Impedance');
     outtextxy(20,60,'Re:          Im:');
     outtextxy(20,70,'Cen. Freq.(Hz):');
     outtextxy(20,80,' Matching Type.');
     outtextxy(20,90,' (L,T,Pi Type):');
     charactonumber(xi,46,40);charactonumber(yi,150,40);
     charactonumber(xr,46,60);charactonumber(yr,150,60);
     charactonumber(fro,150,70);
     mattype(150,90);
end;{*** DATA MATCHING ***}
BEGIN(*******PUTDATA TRANSISTOR.**********)
    case selec of
     'A':datatransistoramp;
     'P':parameterconverse;
     'M':datamatching;
    end;
END;{********PUTDATA TRANSISTOR.**********}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 procedure statedesign;{ ** Count state amplifier. ** }
     begin
      window(getmaxx div 3,20,(getmaxx div 3)*2,40);
      clearviewport;window(getmaxx div 3,20,(getmaxx div 3)*2,40);
      rectangle(0,0,(getmaxx div 3),20);
      outtextxy(10,3,'Total State for design:');
      outtextxy(10,12,' Not Over two state.');
      repeat
      charactonumber(state,196,3);
      until state <3.0;
      clearviewport;window(0,0,getmaxx,getmaxy);
     end;
{************************************************************}
{ Program calculate optimum load with source.              }
{************************************************************}
Procedure Poweroptimize(var gs,bs,gl,bl:real;
         xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo:real);
 var
     p,q:real;
     gio:real;
 begin
     {****** OPTIMIZE *****}
     multiple(P,Q,xr,yr,xf,yf);
     gio:=xi*xo;
     {****** Optimum Source *****}
     if xo=0 then begin gs:=0;bl:=-yi end else
     begin
        Gs:=((sqrt(abs((sqr(2*gio-P))-(sqr(p)+sqr(q)))))/(2*xo));
        Bs:=(Q/(2*xo))-yi
     end;
      {***** Optimum load *****}
     if x:=0 then begin gl:=0;bl:=-yo end else
     begin
         Gl:=((sqrt(abs((sqr(2*gio-P))-(sqr(P)+sqr(Q)))))/(2*xi));
         Bl:=(Q/(2*xi))-yo
     end;
    end;
{************************************************************}
{ Program : Fine match load with source.                   }
{************************************************************}
procedure matsourceload(var zs,zl,xmat1,xmat2,xmat3:real;
                    gs,bs,gl,bl,fo,bwq:real;chm,pass:char);
    var xs,ys,xl,yl:real;
        xs1,xs2:real;
    begin
        conjugate(xs,ys,1,0,gs,bs);
        conjugate(xl,yl,1,0,gl,bl);
        case  chm of
        'l','L':begin lnetwork(xs1,xmat1,xs,xl,pass);
                      zs:=(-ys)+xs1;zl:=-yl;xmat2:=0;xmat3:=0 end;
        't','T':begin tnetwork(xs1,xs2,xmat1,xs,xl,fo,bwq);zs:=(-ys)+xs1;
                      zl:=(-yl)+xs2;xmat2:=0;xmat3:=0 end;
        'p','P':begin Pinetwork(xmat1,xmat2,xmat3,xs,xl,fo,bwq);zs:=-ys;
                      zl:=-yl end;
        end;
    end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{*****************************************************}
{ Program :Casecade in L and T matching form.         }
{*****************************************************}
procedure casecadecttLT(sox,soy,lox,loy:real;cho:char);
    var
        xy1,yy1,xy2,yy2,xy3,yy3,xy4,yy4:real;
        x,y:real;
        j:integer;
    begin
     casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,
              sox,soy,0,0,1,0,1,0,0,zs[1],0,0,1,0);
     for j:=1 to trunc(state) do
     begin
      conjugate(x,y,1,0,0,mat1[j]);
      casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,bb2,
               ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,0,0,0,y,1,0);
      if z1[j]<>0 then
      casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,bb2,
               ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,0,z1[j],0,0,1,0);
      if cho='A'then
       begin
        xy1:=xi[j];yy1:=yi[j];xy2:=xr[j];yy2:=yr[j];
        xy3:=xf[j];yy3:=yf[j];xy4:=xo[j];yy4:=yo[j];
        parameters(xy1,yy1,xy2,yy2,xy3,yy3,xy4,yy4,'Y','F');
        casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,
        bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,xy1,yy1,xy2,yy2,xy3,yy3,xy4,yy4);
        casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,
        bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,0,zs[j+1],0,0,1,0);
       end;
    end;
    if cho='A'then
       begin
         conjugate(x,y,1,0,0,mat1[j+1]);
         casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,
         bb2,ba3,bb3,ba4,bb4 ,1,0,0,0,0,y,1,0);
         if z1[j+1]<>0 then
         casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,
         bb2,ba3,bb3,ba4,bb4 ,1,0,0,z1[j+1],0,0,1,0);
       end;
         conjugate(x,y,1,0,lox,loy);
         casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,
         bb2,ba3,bb3,ba4,bb4 ,1,0,0,0,x,y,1,0);
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{*******************************************************}
{ Program : Casecade in PI matching form.               }
{*******************************************************}
procedure casecadecttPI(sox,soy,lox,loy:real;cho:char);
var
   xy1,yy1,xy2,yy2,xy3,yy3,xy4,yy4:real;
   x,y:real;
   j:integer;
begin
 conjugate(x,y,1,0,0,mat1[1]);
 if zs[1]<>0 then
 casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,sox,soy,0,0,
          1,0,1,0,0,zs[1],0,0,1,0)
  else
 casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,sox,soy,0,0,
          1,0 ,1,0,0,0,0,y,1,0);
for j:=1 to trunc(state) do
begin
 casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,bb2,
          ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,0,mat2[j],0,0,1,0);
conjugate(x,y,1,0,0,mat3[j]);
casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,bb2,
          ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,0,0,0,y,1,0);
if z1[j]<>0 then
casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,bb2,
          ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,0,z1[j],0,0,1,0);
if cho='A' then
     begin
      xy1:=xi[j];yy1:=yi[j];xy2:=xr[j];yy2:=yr[j];
      xy3:=xf[j];yy3:=yf[j];xy4:=xo[j];yy4:=yo[j];
      parameters(xy1,yy1,xy2,yy2,xy3,yy3,xy4,yy4,'Y','F');
      casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,
      bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,xy1,yy1,xy2,yy2,xy3,yy3,xy4,yy4);
      if zs[j+1]<>0 then
      casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,
      bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,0,zs[j+1],0,0,1,0);
      conjugate(x,y,1,0,0,mat1[j+1]);
      casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,
      bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,0,0,0,y,1,0);
     end;
end;
if cho='A' then
     begin
      casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,
      bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,0,mat2[j+1],0,0,1,0);
      conjugate(x,y,1,0,0,mat3[j+1]);
      casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,
      bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,1,0,0,0,0,y,1,0);
      if z1[j+1]<>0 then
      casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,
      bb2,ba3,bb3,ba4,bb4 ,1,0,0,z1[j+1],0,0,1,0);
     end;
conjugate(x,y,1,0,lox,loy);
     casecade(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,ba1,bb1,ba2,
     bb2,ba3,bb3,ba4,bb4 ,1,0,0,0,x,y,1,0);
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{*****POWER AMP ***************************}
   Procedure fineL Civar g,b:arr;xb,yb:real);
    var
           k,i,j:integer;
          m,x,y,f:real;
      w,delta,c,l:real;
    Begin
        conjugate(x,y,1,0,xb,yb);
        k:=1;m:=1;
        if y <>0 then
           if y >0 then
            begin
               l:=abs(y)/(2*pi*fro);
               for i:=0 to 3 do
                begin
                 m:=m*10;
                 for j:=1 to 9 do
                    begin
                       f:=m*j*(10e+4);
                       w:=2*pi*f;
                       delta:=sqr(x)+sqr(w*l);
                       g[k]:=x/delta;
                       b[k]:=-(w*l)/delta;
                       inc(k)
                    end
                end;
            end
            else
            begin
             c:=1/(2*pi*(fro*(abs(y))));
              for i:=0 to 3 do
               begin
                m:=m*10;
                for j:=1 to 9 do
                  begin
                       f:=j*m*(10e+4);
                       w:=2*pi*f;
                       delta:=1+sqr(w*c*x);
                       g[k]:=(sqr(w*c)*x)/delta;
                       b[k]:=(w*c)/delta;
                       inc(k)
                  end
               end;
            end else begin for i:=1 to 36 do
                              begin g[i]:=x;b[i]:=y end
                     end;
        end;
 procedure checkscale;
        var
           data:real;
      st,i,m,mh:integer;
     step,origin:integer;
         st1,st2:string;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure scale;
      var i,k:integer;

      begin
          st:=0;
          if lin=1 then k:=1 else k:=10;
          for i:=1 to 36 do
            begin
                if max<= gpdb[i] then max:=gpdb[i];
                if min>= gpdb[i] then min:=gpdb[i];
            end;
          if max <= 0 then
             begin
                 m:=round(abs(min)+k);
                 if m>200 then begin m:=m div 2;st:=1 end;
                 mh:=m div 2;
                 step:=200 div m;
                 origin:= 50;
                 m:=-m;mh:=-mh;
             end
            else
              if min > 0 then
                begin
                    m:=round(max+k);
                    if m>200 then begin m:=m div 2;st:=1 end;
                    mh:=m div 2;
                    step:= 200 div m;
                    origin:=250
                end
                else
                   begin if max<abs(min) then
                      m:=round(abs(min)+k)
                      else  m:=round(max+k);
                     if m>100 then begin m:=m div 2;st:=1 end;
                     if m>100 then begin m:=m div 2;st:=2 end;
                     mh:= m div 2;
                     step:= 100 div m;
                     origin:=150
                   end;
          for i:=1 to 36 do
            begin
                data:=gpdb[i];
                if st=1 then data:=data/2;
                if st=2 then data:=data/4;
                if data > 0 then
                  y[i]:=origin-(round(step*data))
                else
                   begin
                   data:=abs(data);
                   y[i]:=origin+(round(step*data));
                   end;
            end
      end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        begin
            scale;
            if st=1 then begin m:=m*2;mh:=mh*2 end;
            if st=2 then begin m:=m*4;mh:=mh*4 end;
            str(m:1,st1);str(mh:1,st2);
            case origin of
            50:begin outtextxy(20,origin-5,'0');
                     outtextxy(20,origin+95,st2);
                     outtextxy(20,origin+195,st1)
               end;
           250:begin outtextxy(20,origin,'0');
                     outtextxy(20,origin-105,st2);
                     outtextxy(20,origin-205,st1)
               end;
           150:begin outtextxy(20,origin-5,'0');
                     outtextxy(20,origin-100,st1);
                     outtextxy(20,origin-60,st2);
                     outtextxy(20,origin+55,'-'+st2);
                     outtextxy(20,origin+100,'-'+st1)
               end;
        end;
  end;
procedure table;
 var f,m:real;
     st:string;
   k,l,j,x:integer;
begin
     if lin=0 then begin
      outtextxy(250,30,'RESPONSE IN dB.    ');
      outtextxy(20,30,'dB') end else
      outtextxy(250,30,'LINVILL STABILITY.');
     rectangle(50,50,650,250);
     setlinestyle(1,0,1);
     settextstyle(2,0,2);
     for i:=1 to 4 do
     line(47,50*i,52,50*i);
     m:=1;k:=1;
     for i:=1 to 4 do
     begin
         m:=m*10;
         for j:=1 to 9 do
          begin
           f:=m*j*0.1;
           x:=round(150*(log(f)));
           xx[k]:=x+50;
           line(x+50,50,x+50,253);
           if f=(m*0.1) then
             begin
               str(f*1:1:1,st);
               outtextxy(x+47,255,st)
             end;
             inc(k)
         end
     end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      if co >1 then setlinestyle(2,0,2);
     for i:=1 to 35 do
      line(xx[i],y[i],xx[i+1],y[i+1]);
      settextstyle(0,0,1);
      outtextxy(xx[i-1],255,'10000 MHz.');
      setlinestyle(0,0,1);
 end;
procedure operationpower(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo:real);
Procedure Power;
var
   gp,gpdb:real;
   gs,bs,gl,bl:real;
   bwi,bwo:real;
begin
   (****** POWER AMP GAIN *****)
   multiple(p,q,xr,yr,xf,yf);
   gio:=xi*xo;
   magnitude(mag,xf,yf);
   GP:=(sqr(mag))/((2*gio)-P+sqrt(abs(sqr(2*gio-P)-
       (sqr(P)+sqr(Q)))));
   GPdb:=10*(log(Gp));
   (****** Optimum Source *****)
   if xo=0 then begin gs:=0;bl:=-yi end else
   begin
      Gs:=((sqrt(abs((sqr(2*gio-P))-(sqr(p)+sqr(q)))))/(2*xo));
      Bs:=(Q/(2*xo))-yi
   end;
    (***** Optimum load *****)
   if xi=0 then begin gl:=0;bl:=-yo end else
   begin
      Gl:=((sqrt(abs((sqr(2*gio-P))-(sqr(P)+sqr(Q)))))/(2*xi));
      Bl:=(Q/(2*xi))-yo
   end;
  end;

Procedure bandgain;
 var i,j:integer;
 begin

     finel c(gi,bi,xi,yi);
     finel c(gr,br,xr,yr);
     finel c(gf,bf,xf,yf);
     finel c(go,bo,xo,yo);
     if lin=0 then
      for i:=1 to 36 do
        begin
         multiple(P,Q,gr[i],br[i],gf[i],bf[i]);
         gio:= gi[i]*go[i];
         magnitude(mag,gf[i],bf[i]);
         G:=((2*gio)-P+sqrt(abs(sqr((2*gio)-P)-(sqr(P)+sqr(Q)))));
         if g<=1e-37 then  g:=0.0000000000000000001;
         if g=0 then gp[i]:=110000000 else
         gp[i]:=sqr(mag)/g;
         gpdb[i]:=(10 *log(gp[i]));
        end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        else
           begin
            max:=3;min:=-3;
            for i:=1 to 36 do
            begin
               multiple(p,q,gr[i],br[i],gf[i],bf[i]);
               magnitude(mag,p,q);
               gio:=(2*gi[i]*go[i])-p;
               if gio=0 then gpdb[i]:=10
                else
                 begin
                  gpdb[i]:=mag/gio;
                  if gpdb[i]>3 then gpdb[i]:=3;
                  if gpdb[i]<-3 then gpdb[i]:=-3;
                 end
            end;
           end
     end;
 {main OPERATION POWER.}
 begin
     bandgain;
     checkscale;
     table;
 end;{end OPERATION POWER.}
procedure outputcircuit(sr,si,lr,li,zss,mm1,mm2,mm3,lod:real);
procedure clears(var buffer:arr);
 var i:integer;
         begin for i:=1 to 36 do buffer[i]:=0; end;
var i:integer;
    a,b:real;
    re,gs,gl,ls,ll,soz,ma1,ma2,ma3,load:arr;
 begin
     conjugate(a,b,1,0,sr,si);
     fineL C(gs,gl,a,b);
     conjugate(a,b,1,0,lr,li);
     fineL C(ls,ll,a,b);
     if zss<>0 then begin conjugate(a,b,1,0,0,zss);
                          fineL C(re,soz,a,b) end;
     if lod<>0 then begin conjugate(a,b,1,0,0,lod);
                          fineL C(re,load,a,b) end;
     if mm1<>0 then begin conjugate(a,b,1,0,0,mm1);
                          fineL C(re,ma1,a,b) end;
     if mm2<>0 then begin conjugate(a,b,1,0,0,mm2);
                          fineL C(re,ma2,a,b) end;
     if mm3<>0 then begin conjugate(a,b,1,0,0,mm3);
                          fineL C(re,ma3,a,b) end;
     zss:=zs[1];mm1:=mat1[1];
     mm2:=mat2[1];mm3:=mat3[1];lod:=zl[1];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    for i:=1 to 36 do
    begin
    if zss<>0 then conjugate(a,soz[i],1,0,0,soz[i]) else clears(soz);
    if lod<>0 then conjugate(a,load[i],1,0,0,load[i]) else clears(load);
    if mm1<>0 then conjugate(a,ma1[i],1,0,0,ma1[i]) else clears(ma1);
    if mm2<>0 then conjugate(a,ma2[i],1,0,0,ma2[i]) else clears(ma2);
    if mm3<>0 then conjugate(a,ma3[i],1,0,0,ma3[i]) else clears(ma3);
      zs[1]:=soz[i];z1[1]:=load[i];mat1[1]:=ma1[i];
      mat2[1]:=ma2[i];mat3[1]:=ma3[i];
      case chmat[1] of
      'l','L','t','T':casecadecttLT(gs[i],gl[i],ls[i],ll[i],'M');
            'p','P':casecadecttpi(gs[i],gl[i],ls[i],ll[i],'M');
      end;
      conjugate(a,b,1,0,ba1,bb1);
      magnitude(gpdb[i],a,b);
      gpdb[i]:=20*(log(gpdb[i]));ba1:=1;bb1:=0;ba2:=0;bb2:=0;
      ba3:=0;bb3:=0;ba4:=1;bb4:=0;
    end;
    checkscale;
    table;
    zs[1]:=zss;mat1[1]:=mm1;
    mat2[1]:=mm2;mat3[1]:=mm3;z1[1]:=lod;
  end;
procedure printL C(zs,z1,m1,m2,m3:real);
    var
      num,st,st0:string;
  procedure lc(xin:real);
    var xx:real;
    begin
    if xin >0 then begin xx:=(xin/(2*pi*fro));inc(nl) end
    else if xin<>0 then begin xx:=abs(1/(2*pi*xin*fro));
    inc(nc) end
    else xx:=xin;
    str(xx,st);
    if xx<>0 then
       if xin>0 then begin st0:='L';
                           str(nl,num);
                           outtextxy(pox,poy+4,st0+num+' '+st);
                           inc(poy,9);
                           end
            else begin st0:='C';str(nc,num);
                 outtextxy(pox+25*8,poy1+9,st0+num+' '+st);
                 inc(poy1,9);
                 end;
  end;
    begin
        lc(zs);lc(m1);lc(m2);
        lc(m3);lc(z1);
    end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure ampstate;
(****** CALCULATE AMPLIFIER STATE. ******)
var sor:string;
begin
  if checfile=0 then
   begin
     statedesign;
     for co:=1  to trunc(state) do
     begin
      datatransistor(ga[co],vcc[co],ic[co],so,po,lo,fro,bw,
       xi[co],yi[co],xr[co],yr[co],xf[co],yf[co],xo[co],yo[co],
       chpa[co],chmat[co],chpass[co],number[co],'A');
       parameters(xi[co],yi[co],xr[co],yr[co],xf[co],yf[co],
       xo[co],yo[co],chpa[co],'Y');
    end;
   end;
  for co:=1 to trunc(state) do
   poweroptimize(gsource[co],bsource[co],gload[co],bload[co],
      xi[co],yi[co],xr[co],yr[co],xf[co],yf[co],xo[co],yo[co]);
   conjugate(xs,ys,1,0,so,0);
   matsourceload(zs[1],zl[1],mat1[1],mat2[1],mat3[1],xs,ys,
      gsource[1],bsource[1],fro,bw,chmat[1],chpass[1]);
   conjugate(gsource[trunc(state)+1],
             bsource[trunc(state)+1],1,0,lo,0);
  for co:=1 to trunc(state) do
   begin
     chmat[co+1]:=chmat[co];
     chpass[co+1]:=chpass[co];
     matsourceload(zs[co+1],zl[co+1],mat1[co+1],mat2[co+1],
     mat3[co+1],gload[co],bload[co],gsource[co+1],bsource[co+1],
     fro,bw,chmat[co+1],chpass[co+1])
   end;
  case chmat[1] of
   'l','L','t','T':casecadecttLT(so,0,lo,0,'A');
          'p','P':casecadecttPI(so,0,lo,0,'A');
   end;
   parameters(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4,'F','Y');
   window(4,16,getmaxx-4,getmaxy-4);clearviewport;
   window(4,16,getmaxx-4,getmaxy-4);
   rectangle(0,0,getmaxx-8,getmaxy-8);
   openfile;marks(1.0);
   setlinestyle(0,0,2);
   pox:=5;poy:=5;n1:=0;nc:=0;poy1:=0;
   str(fro:6:3,sor);
   outtextxy(pox+60*8,poy,'FREQUENCY (Hz):'+sor);
   str(so:6:3,sor);
   outtextxy(pox+60*8,poy+9,'Source(ohm):'+sor);
   str(lo:6:3,sor);
   outtextxy(pox+60*8,poy+18,'Load (ohm):'+sor);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    for co:=1 to trunc(state) do
    begin
     str(vcc[co]:4:2,sor);
     outtextxy(pox+60*8,poy+30+9*co,'Vcc(V):'+sor);
     str(ic[co]:5:3,sor);outtextxy(pox+75*8,poy+30+9*co,'Ic(mA):'+sor);
     plotcircuit(zs[co],zl[co],mat1[co],mat2[co],
                 mat3[co],co,'l',nl,nc);
     printl c(zs[co],zl[co],mat1[co],mat2[co],mat3[co]);
    end;
     plotcircuit(zs[co+1],zl[co+1],mat1[co+1],mat2[co+1],
                 mat3[co+1],0,'l',nl,nc);
     printl c(zs[co+1],zl[co+1],mat1[co+1],mat2[co+1],mat3[co+1]);
     resp:=1;checfile:=0;
  end;{***** CALCULATE AMPLIFIER STATE *****}
procedure parameterdisplay;
      {***** CALCULATE PARAMETER CONVERSE **}
   var st:string;
   begin
      datatransistor(ga[1],vcc[1],ic[1],so,po,lo,fro,bw,
      xi[1],yi[1],xr[1],yr[1],xf[1],yf[1],xo[1],yo[i],
      chpa[1],chmat[1],chpass[1],number[1],'P');
      chpa[1]:=upcase(chpa[1]);chpass[1]:=upcase(chpass[1]);
      parameters(xi[1],yi[1],xr[1],yr[1],xf[1],yf[1],
      xo[1],yo[1],chpass[1],chpa[1]);
      outtextxy(20,120,'      OUTPUT.');
      outtextxy(20,130,'   Real        Imagin.');
     str(xi[1]:5:6,st);outtextxy(20,150,number[1]+'11='+st);
      str(yi[1]:5:6,st );outtextxy(130,150,number[1]+'11='+st);
     str(xr[1]:5:6,st );outtextxy(20,160,number[1]+'12='+st);
      str(yr[1]:5:6,st );outtextxy(130,160,number[1]+'12='+st);
     str(xf[1]:5:6,st );outtextxy(20,170,number[1]+'21='+st);
      str(yf[1]:5:6,st );outtextxy(130,170,number[1]+'21='+st);
     str(xo[1]:5:6,st );outtextxy(20,180,number[1]+'22='+st);
      str(yo[1]:5:6,st );outtextxy(130,180,number[1]+'22='+st);
     resp:=0;
     repeat funckey(key) until key=esc;clearviewport
   end;{*** END CAL. PARAMETER ************}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure matchingcalculate;
      {***** CALCULATE MATCHING. *****}
      var x1,y1,x2,y2:real;
         fr,xz,yz:string;
      begin
         if checfile= 0 then
          begin
            datatransistor(ga[1],vcc[1],ic[1],so,po,lo,fro,bw,
            xi[1],yi[1],xr[1],yr[1],xf[1],yf[1],xo[1],yo[1],
            chpa[1],chmat[1],chpass[1],number[1],'M');
          end;
        state:=1.0;
        if (xi[1]<>xr[1])and(xi[1]<>0)and(xr[1]<>0) then
         begin
          conjugate(x1,y1,1,0,xi[1],yi[1]);
          conjugate(x2,y2,1,0,xr[1],yr[1]);
          matsourceload(zs[1],z][1],mat1[1],mat2[1],mat3[1],x1,y1,
          x2,y2,fro,bw,chmat[1],chpass[1]);
          case chmat[1] of
          'l','L','t','T':casecadecttLT(xi[1],yi[1],xr[1],yr[1],'M');
          'p','P'        :casecadecttPI(xi[1],yi[1],xr[1],yr[1],'M');
           end;
         end
          else
          begin zs[1]:=0;z][1]:=0;mat1[1]:=0;mat2[1]:=0;mat3[1]:=0 end;
        window(4,16,getmaxx-4,getmaxy-4);clearviewport;
        window(4,16,getmaxx-4,getmaxy-4);
        rectangle(0,0,getmaxx-8,getmaxy-8);
        openfile;marks(1.0);
        setlinestyle(0,0,2);
        pox:=5;poy:=5;nl:=0;nc:=0;poy1:=0;
        co:=1;window(getmaxx div 3,0,getmaxx,getmaxy);
        outtextxy(0,220,'Zs');outtextxy(230,220,'Zl');
        plotcircuit(zs[co],z][co],mat1[co],mat2[co],mat3[co],0,
        'l',nl,nc);window(4,16,getmaxx-4,getmaxy-4);
        str(fro:8:4,fr);
        outtextxy(pox+45*8,poy,'     FREQUENCY(Hz):'+fr);
        str(xi[1]:6:3,xz);str(yi[1]:6:3,yz);
        outtextxy(pox+45*8,poy+9,'    Source:');
        outtextxy(pox+58*8,poy+9,'Zs:'+xz+' j '+yz);
        str(xr[1]:6:3,xz);str(yr[1]:6:3,yz);
        outtextxy(pox+45*8,poy+18,'    Load  :');
        outtextxy(pox+58*8,poy+18,'Zl:'+xz+' j '+yz);
        outtextxy(pox+45*8,poy+27,'   Matching: '+chmat[1]+'  Type');
        print] c(zs[co],z][co],mat1[co],mat2[co],mat3[co]);
        resp:=2;checfile:=0;
      end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure responscircuit;{** display response circuit **}
 begin
      if fro>=1000000 then
      begin
       max:=0;min:=0;
       if resp = 1 then
          if lin=0 then
                  operationpower(ba1,bb1,ba2,bb2,ba3,bb3,ba4,bb4)
             else  for co:=1 to trunc(state) do
                  operationpower(xi[co],yi[co],xr[co],yr[co],
                                 xf[co],yf[co],xo[co],yo[co])
          else  outputcircuit(xi[1],yi[1],xr[1],yr[1],zs[1],mat1[1],
                              mat2[1],mat3[1],z1[1]);
       repeat funckey(key);
        if key=$1675 then subprint;
       until key=esc;
     end;
        window(0,0,getmaxx,getmaxy);
     window(4,16,getmaxx-4,getmaxy-4);
       clearviewport;
 end;
{************ MAIN PUTDATA ************************************}
 begin
   if (keyselec='a')or(keyselec= 'm') then
   begin
       window(4,16,getmaxx-4,getmaxy-4);clearviewport;
       window(4,16,getmaxx-4,getmaxy-4);
    end;
   setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,true);
   sized:=imagesize(0,0,getmaxx,getmaxy);
   getmem(pdata,sized);
   getimage(0,0,getmaxx,getmaxy,pdata^);
   window(4,16,getmaxx-4,getmaxy-4);clearviewport;
   window(4,16,getmaxx-4,getmaxy-4);
    case keyselec of
         'a':ampstate;
         'p':parameterdisplay;
         'm':matchingcalculate;
         'r':responscircuit;
        end;
repeat funckey(key) until key=esc;
window(0,0,getmaxx,getmaxy);
settextstyle(0,0,1);
putimage(0,0,pdata^,2);
freemem(pdata,sized);
end;
function create(var fi:filese):boolean;
        begin {$i-} RESET(fi); {$i+}
             create:=ioresult  =0;
        end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    procedure move;
    {Program move box inverse*******************************}
              begin box((step*i)-20,0,(step*i)-20+w,h+2) end;
    procedure boxfiles;
    {*********************************************************}
    { Program : Submenu of files                              }
    { Purpose : Display submenu.                              }
    {*********************************************************}
    const
           files:array[1..5] of string=('Load','Save',
                'Print U','Dir','Exit');
    var pf,lp :pointer;
          size:word;
        li,st,i:integer;
    procedure subbox; begin box(2,9*ii0,72,9+(9*ii0)) end;
    procedure putname(px,py,cc:integer;var st:string);
      begin
           setviewport(px,py,cc*9+px+2,py+10,true);
           clearviewport;setviewport(px,py,cc*9+px+2,py+10,true);
           rectangle(2,1,cc*9,10);
           chardisplay(8,2,st);
           clearviewport;
    end;
    procedure loads(k:integer);{** put string files **}
          var pe:pointer;
           size:word;
          begin
            setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,true);
            size:=imagesize(0,0,getmaxx,getmaxy);
            getmem(pe,size);
            getimage(0,0,getmaxx,getmaxy,pe^);
            putname(st+20,30+9*k,40,sst);
            window(0,0,getmaxx,getmaxy);
            putimage(0,0,pe^,0);freemem(pe,size);
         end;
    {*********************************************************}
    { Program : diskplay files                                }
    {*********************************************************}
    procedure dispfile;
        type strarray=array[1..50] of string;
        var  path:string;i,ii:integer;
             dirinfo:searchrec;
             names:strarray;
    procedure dir(mask:string);
             begin findfirst(mask,anyfile,dirinfo);
                   while doserror=0 do
                   begin findnext(dirinfo);
                         if (doserror=0 )then begin
                             i:=i+1;names[i]:=dirinfo.name;
                                              end;
                   end
             end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    procedure block;(** Box name in diskette **)
        var p:pointer;
            j,k,y:integer;
            size:word;
       begin size:=imagesize(23,50,695,I+50);
             getmem(p,size);
             getimage(23,50,695,i+50,p^);
             window(23,50,695,i+50);
             clearviewport;window(23,50,695,i+50);
             rectangle(2,2,670-2,i);
             y:=0;j:=1;
             repeat k:=0;
                    repeat
                     outtextxy(55+k*116,8+y*16,names[j]);
                     inc(k);inc(j);if j>ii then k:=5;
                     until k>4;
                     inc(y);
             until j>ii;
             repeat until keypressed;
             clearviewport;window(0,0,getmaxx,getmaxy);
             putimage(23,50,p^,0);
             freemem(p,size);
        end;
 begin (** Display files **)
     setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,true);
     path:=sst;i:=0;
     dir(path);ii:=i;
     i:=((i div 5)+1)*2;
     i:=i*8;
     block;
 end;(** End of Display files **)
 {*****************************************************************}
 { Program : Save data to disk.                                    }
 {*****************************************************************}
 procedure savepic(gil,bil,gr2,br2,gf3,bf3,go4,bo4,vccc,icc:tr;
                   froo,bww,soo,loo,statee:real;chh,clh:char;
                   nameqq:string;check:integer);
 var
         i:integer;
 begin (** save files **)
      assign(filesave,nameqq);
      if nameqq<>'' then
      begin
       if  create(filesave) then erase(filesave);
       rewrite(filesave);
       with datas  do
       begin
       for i:=1 to 25 do
        begin
       gi[i]:=gil[i];bi[i]:=bil[i];gr[i]:=gr2[i];br[i]:=br2[i];
       gf[i]:=gf3[i];bf[i]:=bf3[i];go[i]:=go4[i];bo[i]:=bo4[i];
       vcc[i]:=vccc[i];ic[i]:=icc[i];
       end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        fro:=froo;bw:=bww;so:=soo;lo:=loo;state:=statee;
        ch:=chh;chec:=check;chlh:=clh;
        write(filesave,datas);
       end;
       close(filesave);
      end;
end; {** end of save files **}
{*********************************************************************}
{ Program : Load files from disk.                                     }
{*********************************************************************}
procedure loadpic(var gi1,bi1,gr2,br2,gf3,bf3,go4,bo4,vccc,icc:tr;
                  var froo,bww,soo,loo,statee:real;
                  var chh,clh:char;nameqq:string;var check:integer);
var
        i:integer;
begin {** load files **}
   assign(filesave,nameqq);
   checfile:=0;
     if  create(filesave) then
        begin
          reset(filesave);
          while not eof(filesave) do
           begin
            read(filesave,datas);
            checfile:=1;
           end;
          close(filesave);
         with datas  do
       begin
        for i:=1 to 25 do
        begin
        gi1[i]:=gi[i];bi1[i]:=bi[i];gr2[i]:=gr[i];br2[i]:=br[i];
        gf3[i]:=gf[i];bf3[i]:=bf[i];go4[i]:=go[i];bo4[i]:=br[i];
        vccc[i]:=vcc[i];icc[i]:=ic[i];
        end;
        froo:=fro;bww:=bw;soo:=so;loo:=lo;statee:=state;
        chh:=ch;check:=chec;clh:=chlh;
      end;
        end
     else checfile:=0;

end;{** end of load files **}
procedure loaddisplay;{** check type data ***}
    begin
       if checfile=1 then
         begin
          if resp= 1 then chld:='a' else chld:='m';
          putdata(chld);li:=1;
          end;
    end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 begin (******** main program boxfiles **************)
         st:=step;
         size:=imagesize(st-35,16,st+38,72);
         getmem(pf,size);
         getimage(st-35,16,st+38,72,pf^);
         window(st-35,16,st+38,72);
         clearviewport;window(st-35,16,st+38,72);
         rectangle(0,0,72,56);
         for i:=1 to 5 do
          outtextxy(0,i*9+1,' '+files[i]);
          box(2,9*ii0,72,9+(9*ii0));li:=0;
          repeat
           funckey(key);
           case key of
              up:begin subbox;ii0:=ii0-1;if ii0<1 then
                        ii0:=5;subbox end;
            down:begin subbox;ii0:=ii0+1;if ii0>5 then
                        ii0:=1;subbox end;
(Load L)    $266C:begin subbox;ii0:=1;subbox;loads(1);
                  loadpic(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,vcc,ic,
                  fro,bw,so,lo,state,chmat[1],chpass[1],sst,resp);
                  loaddisplay; end;
(Save S)    $1F73:begin subbox;ii0:=2;subbox;loads(2);
                  savepic(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,vcc,ic,
                  fro,bw,so,lo,state,chmat[1],chpass[1],
                  sst,resp) end;
(printer  P)$1970:begin subbox;ii0:=3;subbox; end;
(Dir D)     $2064:begin subbox;ii0:=4;subbox;loads(4);
                  dispfile end;
(Exit E)    $1265:begin subbox;ii0:=5;subbox ;
                  closegraph;halt(0) end;
            return : case ii0 of
                   1:begin loads(1);loadpic(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,vcc,ic,
                  fro,bw,so,lo,state,chmat[1],chpass[1],sst,resp);
                   loaddisplay end;
                   2:begin loads(2);savepic(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,
                    yo,vcc,ic,fro,bw,so,lo,state,chmat[1],
                     chpass[1],sst,resp) end;
                   3:begin
                      window(st-35,16,st+38,72);
                      clearviewport;
                      setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,true);
                      putimage(st-35,16,pf^,0);
                      subprint;
                     end;
                   4:begin loads(4);dispfile end;
                   5:begin closegraph;halt(0) end;
                   end;
           end;
          window(st-35,16,st+38,72);
          until key=esc;
          setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,true);
          if li=0 then  putimage(st-35,16,pf^,0);
          freemem(pf,size);li:=0;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure boxgraph;
{*****************************************************}
{ Program : Display Graph,                            }
{ Purpose : Display Linvill,Response                  }
{*****************************************************}
procedure grbox; begin box(2,9+ii2,68,9+(9*ii2)) end;
  const
   graphs:array[1..2] of string=('Response','Linvill');
  var pg:pointer;
    size:word;
    st,i:integer;
         begin
            st:=step*4;
            size:=imagesize(st-35,16,st+34,46);
            getmem(pg,size);
            getimage(st-35,16,st+34,46,pg^);
            window(st-35,16,st+34,46);
            clearviewport;window(st-35,16,st+34,46);
            rectangle(0,0,68,30);
            for i:=1 to 2 do
             outtextxy(3,i*9+1,graphs[i]);
            box(2,9+ii2,68,9+(9*ii2));
            repeat
              funckey(key);
               case key of
                up : begin grbox;ii2:=ii2-1;if ii2<1 then
                     ii2:=2;grbox end;
              down : begin grbox;ii2:=ii2+1;if ii2>2 then
                     ii2:=1;grbox end;
              $1675: subprint;
            return:case ii2 of
                     1:putdata('r');
                     2:begin lin:=1;putdata('r');lin:=0 end;
                     end;
              end;
             window(st-35,16,st+34,46);
           until key =esc ;
           clearviewport;window(0,0,getmaxx,getmaxy);
           putimage(st-35,16,pg^,0);
           freemem(pg,size);
       end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{##########################################################}
{ program : MENU PROGRAM S-CAD 1.0                         }
{ purpose : Write menu                                     }
{##########################################################}
      BEGIN{**** MAIN S-CAD. 1.0 ****}
           installgraph;
           resp:=0;checfile:=0;lin:=0;
           x:=getmaxx;y:=getmaxy;
           rectangle(0,12,x,y);
           rectangle(2,14,x-2,y-2);
           step:=x div 6;
           for i:=1 to 5 do
            outtextxy((step*i)-20,2,menu[i]);
           i:=1;
           ii0:=1;ii1:=1;ii2:=1;ii3:=1;
           checktext(h,w,menu[1]);
           box(step-20,0,step-20+w,h+2);
           title;
           while i<>0 do
           begin
            funckey(key);
            case key of
             right:begin move;i:=i+1;
                         if i>5 then i:=1;
                         checktext(h,w,menu[i]);move
                   end;
             left :begin move;i:=i-1;
                         if i<1 then i:=5;
                         checktext(h,w,menu[i]);move
                   end;
 {Files F}     $2166:begin move;i:=1;checktext(h,w,menu[1]);
                         move;boxfiles; end;
 {Amp.   A}    $1E61:begin move;i:=2;checktext(h,w,menu[2]);
                         move ;putdata('a') end;
 {Parameter P}$1970:begin move;i:=3;checktext(h,w,menu[3]);
                         move;putdata('p') end;
 {Graph G}     $2267:begin move;i:=4;checktext(h,w,menu[4]);
                         move;boxgraph end;
 {Matching M} $326d:begin move;i:=5;checktext(h,w,menu[5]);
                         move;putdata('m') end;
               $1675:subprint;
             REturn :case i of
                         1:boxfiles;
                         2:putdata('a');
                         3:putdata('p');
                         4:boxgraph;
                         5:putdata('m');
                     end;
             end;
            end;
          closegraph;
     END.{*** END PROGRAM S-CAD. 1.0 ***}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
UNIT transfer;
INTERFACE
USES CRT,ucad1;
procedure parameters(var xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo:real;inputpa,outputpa:char);
procedure Inetwork(var xs,xp:real;rs,rl:real;ch:char);
procedure Tnetwork(var xs1,xs2,xp:real;rs,rl,fo,bw:real);
procedure Pinetwork(var xs,xp1,xp2:real;rs,rl,fo,bw:real);
procedure casecade(var a1,a2,b1,b2,c1,c2,d1,d2:real;
                   xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,i1,i2,r1,r2,f1,f2,o1,o2:real);

IMPLEMENTATION
procedure parameters(var xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo:real;inputpa,outputpa:char);
var
    Done            : boolean;


procedure GetDeterminantOfParameter(var Dx,Dy : real;
                    Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo : real);
begin
  Dx := (Xo*Xi)-(Yo*Yi)-(Xf*Xr)+(Yf*Yr);
  Dy := (Xo*Yi)+(Xi*Yo)-(Xf*Yr)-(Xr*Yf);
end;{ GetDeterminantOfParameter }

procedure TransferZtoY(Dx,Dy : real; var Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo : real);
var Xtemp,Ytemp : real;

begin  { TransferZtoY }
  Xtemp := Xi; Ytemp := Yi;
  Conjugate(xi,yi,xo,yo,dx,dy);              { Yi parameter = Xi+iYi }
  Conjugate(xr,yr,xr,yr,dx,dy);
  Xr := -Xr; Yr := -Yr;                 { Yr parameter = Xr+iYr }
  Conjugate(xf,yf,xf,yf,dx,dy);
  Xf:= -Xf; Yf := -Yf;                  { Yf parameter = Xf+iYf }
  Conjugate(xo,yo,xtemp,ytemp,dx,dy)         { Yo parameter = Xo+iYo }
end;  { TransferZtoY }



procedure TransferZtoH(Dx,Dy : real;
                    var Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo : real);

begin  { TransferZtoH }
  Conjugate(xi,yi,Dx,Dy,xo,yo);   { Hi parameter = Xi+iYi }
  Conjugate(xr,yr,Xr,Yr,Xo,Yo);   { Hr parameter = Xr+iYr }
  Conjugate(Xf,Yf,Xf,Yf,xo,Yo);
  Xf := -Xf; Yf :=-Yf;      { Hf parameter = Xf+iYf }
  Conjugate(xo,yo,1,0,Xo,Yo);     { Ho parameter = Xo+iYo }
end;  { TransferZtoH }

procedure TransferYtoZ(Dx,dy : real; var Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo : real);

begin  { TransferYtoZ }
  TransferZtoY(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
end;   { TransferYtoZ }

procedure TransferYtoH(Dx,Dy : real; var xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,yo : real);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 var  Xtemp,Ytemp : real;

 begin  { TransferYtoH }
   Xtemp := Xi; Ytemp := Yi;
   Conjugate(Xi,Yi,1,0,Xtemp,Ytemp);   { Hi parameter = Xi+iYi }
   Conjugate(Xr,Yr,Xr,Yr,Xtemp,Ytemp);
   Xr := -Xr; Yr := -Yr;          { Hr parameter = Xr+iYr }
   Conjugate(Xf,Yf,Xf,Yf,Xtemp,Ytemp); { Hf parameter = Xf+iYf }
   Conjugate(Xo,Yo,Dx,Dy,Xtemp,Ytemp); { Ho parameter = Xo+iYo }
end;   {TransferYtoH }

procedure TransferHtoZ(Dx,Dy : real; var Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo : real);
begin  { TransferHtoZ }
  TransferZtoH(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
end;    { TransferHtoZ }

procedure TransferHtoY(Dx,Dy : real; var Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo : real);
begin  { TransferHtoY }
  TransferYtoH(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo)
end;  { TransferHtoY }
procedure transferStoYtoS(var xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo : real;
                              g1,b1,g2,b2,g3,b3,g4,b4: real);
{------------------------------------------------------------------}
{ Program :s to y and y to s transfer                              }
{ purpose : tranfer parameter                                      }
{------------------------------------------------------------------}
  var
    sg1,sb1,sg2,sgo,sbo:real;
    sgb,sbb,sgd,sbd:real;
    begin
        sg1:=(1-g1);
        sg2:=(1+g4);
        multiple(sg1,sb1,sg1,-b1,sg2,b4);
        multiple(sgb,sbb,g2,b2,g3,b3);
        sgo:=sg1+sgb;
        sbo:=sb1+sbb;
        sg1:= 1+g1);
        multiple(sg1,sb1,sg1,b1,sg2,b4);
        sgd:=sg1-sgb;
        sbd:=sb1-sbb;
        conjugate(xi,yi,sgo,sbo,sgd,sbd);
        conjugate(xr,yr,(-2*g2),(-2*b2),sgd,sbd);
        conjugate(xf,yf,(-2*g3),(-2*b3),sgd,sbd);
        sg1:=(1+g1);
        sg2:=(1-g4);
        multiple(sg1,sb1,sg1,b1,sg2,-b4);
        sgo:=sg1+sgb;
        sbo:=sb1+sbb;
        conjugate(xo,yo,sgo,sbo,sgd,sbd);
    end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure Y task(OutputParameter : char; Dx,Dy : real;
                 var Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo : real);
{************************************************************************}
{   Purpose : transfer Y parameter to Z,S,H, F parameter                  }
{************************************************************************}
begin { Y task }
    case Outputparameter of
      'Z':transferYtoZ(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
      'H':transferYtoH(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
      'S':transferStoYtoS(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
      'F':y to abcd(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo) ;
      end;
 end;{Y task}
procedure H task(OutputParameter : char; Dx,Dy : real;
                 var Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo : real);
{************************************************************************}
{   Purpose : transfer H parameter to Z,S,F, Y parameter                  }
{************************************************************************}
begin { H task }
     case Outputparameter of
     'Y':transferHtoY(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
     'Z':transferHtoZ(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
     'S':begin transferHtoY(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
               transferStoYtos(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo) end;
     'F':begin transferHtoY(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
               y to abcd(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo) end;
     end;
end;{H task}
procedure S task(outputparameter:char;var xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo:real);
{************************************************************************}
{   purpose : Transfer S-Parameter to Y,H ,F,Z  Parameter                  }
{************************************************************************}
      var Dx,Dy:real;
      begin
          TransferStoYtoS(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          GetDeterminantOfparameter(Dx,Dy,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          case outputparameter of
          'Z':transferYtoZ(Dx,Dy,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          'H':transferYtoH(Dx,Dy,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          'F':y to abcd(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          'S':transferStoYtoS(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          end;
      end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{-------------------------------------------------------------------------}
{ Program : Transfer y to abcd parameter                                  }
{ Purpose : Transfer parameter.                                           }
{-------------------------------------------------------------------------}
 procedure y to abcd( gi,bi,gr,br,gf,bf,go,bo:real;
                      var a1,a2,b1,b2,c1,c2,d1,d2:real);
  var  x1,y1,x2,y2,x,y:real;
  begin
      conjugate(a1,a2,-go,-bo,gf,bf);
      conjugate(b1,b2,-1,0,gf,bf);
      multiple(x1,y1,gi,bi,go,bo);
      multiple(x2,y2,gr,br,gf,bf);
      x:=x1-x2;y:=y1-y2;
      conjugate(c1,c2,-x,-y,gf,bf);
      conjugate( d1,d2,-gi,-bi,gf,bf)
  end;
{-------------------------------------------------------------------------}
{ Program : Transfer ABCD to Y parameter.                                 }
{ Purpose : Transfer parameter.                                           }
{-------------------------------------------------------------------------}
 procedure abcd to y( a1,a2,b1,b2,c1,c2,d1,d2:real;
                      var gi,bi,gr,br,gf,bf,go,bo:real);
 var x1,y1,x2,y2,x,y:real;
  begin
       conjugate(gi,bi,d1,d2,b1,b2);
       multiple(x1,y1,a1,a2,d1,d2);
       multiple(x2,y2,b1,b2,c1,c2);
       x:=x1-x2;y:=y1-y2;
       conjugate(gr,br,-x,-y,b1,b2);
       conjugate(gf,bf,-1,0,b1,b2);
       conjugate(go,bo,a1,a2,b1,b2)
  end;

procedure Z task(OutputParameter : char;Dx,Dy : real;
                 var Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo : real);
{************************************************************************}
{   Purpose : transfer Z parameter to Y,S ,H,F paramete                   }
{************************************************************************}
begin {Z task}
     case Outputparameter of
     'Y':transferZtoY(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
     'H':transferZtoH(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
     'S':begin transferZtoY(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
               transferStoYtoS(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo) end;
     'F':begin transferZtoY(Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
               y to abcd(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo) end;
     end;
end;{Z task}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure F task(outputparameter:char;var xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo:real);
{************************************************************************}
{   purpose : Transfer F-Parameter to Y,H ,S, Z  Parameter              }
{************************************************************************}
      var Dx,Dy:real;
      begin
          abcd to Y(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          GetDeterminantOfparameter(Dx,Dy,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          case outputparameter of
          'Z':transferYtoZ(Dx,Dy,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          'H':transferYtoH(Dx,Dy,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          'S':transferstoytos(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          'F':Y to abcd(xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          end;
       end;
procedure CalculateOutputParameter
         (InputParameter,OutputParameter : char;
         var     done                    : boolean;
         var     Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo : real );
var Dx,Dy : real;
begin
  if InputParameter<>OutputParameter then
    begin
      GetDeterminantOfParameter
         (Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
      if (Dx<>0)or(Dy<>0) then
        begin
          case InputParameter of
           'Z' : Z task(OutputParameter,Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
           'Y' : Y task(OutputParameter,Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
           'H' : H task(OutputParameter,Dx,Dy,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
           'S' : S task(outputparameter,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
           'F' : F task(outputparameter,xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo);
          end
        end
      else
        Done := False
    end
end;

begin  { main }
  Done := True;
  CalculateOutputParameter(InputPa,OutputPa,Done,Xi,Yi,Xr,Yr,Xf,Yf,Xo,Yo);
end;{ Main }

procedure Lnetwork(var xs,xp:real;rs,rl:real;ch:char);
   var
   r,q,x:real;
   procedure xsxp(var x1,x2:real);
            begin
                     x1:=q*rs;
                     x2:=rl/q;
            end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    BEGIN
     if rl>rs then r:=rl/rs else r:=rs/rl;
     q:=sqrt(abs(r)-1);if q=0 then q:=1e-20;
      if (ch='H')or(ch='h') then  begin xsxp(x,xp);xs:=-x end
                            else begin xsxp(xs,x);xp:=-x end;
END;

procedure Tnetwork(var xs1,xs2,xp:real;rs,rl,fo,bw:real);
 var
   rb,r,q:real;
   xp1,xp2:real;
 BEGIN
     q:=fo/bw;
     if rl>rs then r:=rs*(Q*Q+5) else r:=rl*(Q*Q+5);
     rb:=r;
     xs1:=q*rs;
     xp1:=r/q;
     if rl>r then r:=rl/r else r:=r/rl;
     q:=sqrt(abs(r-1));if q=0 then q:=0.0000000000000001;
     xp2:=rb/q;
     xs2:=q*rl;
     xp :=-((xp1*xp2)/(xp1+xp2))
 END;

procedure Pinetwork(var xs,xp1,xp2:real;rs,rl,fo,bw:real);
 var r,rb,q:real;
     xs1,xs2:real;
 BEGIN
     q:=fo/bw;
     if rl> rs then r:=rl/(q*q+5) else r:=rs/(q*q+5);
     rb:=r;
     xp2:=rl/q;
     xs2:=q*r;
     if rs>r then r:=(rs/r) else r:=r/rs;
     q:=sqrt(abs(r-1));if q=0 then q:=0.00000000000001;
     xs:=rs/q;
     xs1:=q*rb;
     xp1:=-(xs1+xs2);
END;
procedure casecade(var a1,a2,b1,b2,c1,c2,d1,d2:real;
                   xi,yi,xr,yr,xf,yf,xo,yo,i1,i2,r1,r2,f1,f2,o1,o2:real);
          var x1,x2,y1,y2:real;
          begin
              multiple(x1,y1,xi,yi,i1,i2);
              multiple(x2,y2,xr,yr,f1,f2);
              a1:=x1+x2;a2:=y1+y2;
              multiple(x1,y1,xi,yi,r1,r2);
              multiple(x2,y2,xr,yr,o1,o2);
              b1:=x1+x2;b2:=y1+y2;
              multiple(x1,y1,xf,yf,i1,i2);
              multiple(x2,y2,xo,yo,f1,f2);
              c1:=x1+x2;c2:=y1+y2;
              multiple(x1,y1,xf,yf,r1,r2);
              multiple(x2,y2,xo,yo,o1,o2);
              d1:=x1+x2;d2:=y1+y2
          end;
    end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unit  ucad1;
interface
uses
   crt,dos,graph,printer;
const
    esc=$011b;   up=$4800;   down=$5000;   right=$4d00;
    left=$4b00;  return=$1c0d;f1=$3b00;
procedure prts;
procedure installgraph;
procedure funckey(var code:word);
procedure checktext(var h,w:integer;st:string);
procedure window(x1,y1,x2,y2:integer);
procedure box(x1,y1,x2,y2:integer);
procedure readk(var key:char;var data:boolean);
procedure charactonumber(var num:real;x,y:integer);
procedure chardisplay(x,y:integer;var st:string);
procedure multiple(var x,y:real;x1,y1,x2,y2:real);
procedure magnitude(var mag:real;x,y:real);
procedure conjugate(var x,y:real;x1,y1,x2,y2:real);
function log(a:real):real;
procedure recpolar(var magnit,polar:real;x,y:real);
procedure polarrec(var x,y :real;magnit,polar:real);

IMPLEMENTATION
procedure prts;{****print graphics from screen  to printer********}
 var
    ch:char;
    inverse:word;
    codeforexit:byte;
    Procedure Copygraphics(prtcode:byte);
     const
       leftmagins:array[1..3] of byte=(10,0,33);
       Smode :array[1..3] of  byte=(1,1,4);
     var
       scanline:integer;
       n1,n2,leftmagin,mode:byte;
       scanmax,endscan:word;
       Procedure copyonebyte(onebyte:byte);
         var
            Regs:registers;
            BEGIN
                 regs.ah:=0;
                 regs.al:=onebyte;
                 regs.dx:=pred(1);
                 intr($17,regs);
           END;{copy one byte}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Procedure copy8line;
  const
      bits:array[0..7] of byte=(128,64,32,16,8,4,2,1);
       var
         bit,printbyte:byte;
         xypixel,xy:integer;
        BEGIN
             Copyonebyte(27);
             Copyonebyte(ord('*'));
             Copyonebyte(mode);
             Copyonebyte(n1);
             Copyonebyte(n2);
            for xypixel :=0 to scanmax do
             begin
                 xy:=Scanline*8;
                 printbyte:=0;
                 for bit:=0 to 7 do
                  begin
                  if (prtcode = 1) and (Getpixel(xypixel,xy+bit) <> 0) then
                    printbyte:=printbyte+bits[bit];
                  if (prtcode<> 1 ) and (getpixel(xy+bit,scanmax-xypixel)<>0) then
                     printbyte:=printbyte+bits[bit];
                  if inverse=1 then printbyte:=255-printbyte;
                  end;
                  Copyonebyte(printbyte);
              end;
                  Copyonebyte(10);
            end;{Copy8line}
    BEGIN {Copygraphics}
                   mode:=smode[prtcode];
                   leftmagin:=leftmagins[prtcode];
                   Scanmax:=719;endscan:=349;
                    if prtcode>1 then begin scanmax:=349;endscan:=719 end;
                    Copyonebyte(27);
                    Copyonebyte(ord('3'));
                    Copyonebyte(24);
                    n1:=lo(succ(scanmax));
                    n2:=hi(succ(scanmax));
                     Copyonebyte(27);
                     Copyonebyte(ord('1'));
                     Copyonebyte(leftmagin);
                    for scanline := 0 to (endscan div 8) do
                      Copy8line;
                      copyonebyte(27);
                      Copyonebyte(2);
                      Copyonebyte(27);
                      Copyonebyte(ord('1'));
                      Copyonebyte(0);
                      Copyonebyte(27);
                      Copyonebyte(ord('<'));
            end;{Copygraphics}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
BEGIN( Prts);
  Codeforexit:=0;inverse:=0;
   repeat
        Ch:=readkey;
        if Upcase(ch)='I' then begin inverse:=1;ch:=#7 end;
        if ch=#0 then
          begin
             ch:=readkey;
             case ch of
             #84:Copygraphics(1);
             #85:Copygraphics(2);
             #86:copygraphics(3);
             end;
          end; (#ch=0)
        if (ch>#31) and (ch<#127) then Codeforexit:=27;
    until codeforexit=27;
  end;(prts)
procedure readk(var key:char;var data:boolean);
  begin
     data:=false;
     key:=readkey;
     if key<>#0 then
        data:=true
        else begin
             data:=false;
             key:=readkey
          end;
  end;
procedure charactonumber(var num:real;x,y:integer);
{-------------------------------------------------------------------}
{  Program : Exchange string to  number.                            }
{  purpose : Uses for calculate.                                    }
{-------------------------------------------------------------------}
var  res:integer;
  st:string;
  ch:char;
  i,j:integer;
  P:pointer;
  size:word;
  data:boolean;
 procedure texts;
  begin
  repeat
  putimage(x+j,y,p^,4);delay(100);
  putimage(x+j,y,p^,0);delay(100);
  readk(ch,data);
  if data then
    if ch= #8 then
      begin
           setfillstyle(1,0);bar(x+j,y,x+7+j,y+7);
           j:=j-8;i:=i-1;
           if j<0 then begin j:=0;i:=0 end;
           delete(st,i+1,length(st))
       end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                else
                    begin
                       setfillstyle(1,0);bar(x+j,y,x+7+j,y+7);
                       outtextxy(x+j,y,ch);
                       j:=j+8;i:=i+1;
                       st:=st+ch;
                    end
            else
                case ch of
                (left,del) #75,#83:begin
                                     setfillstyle(1,0);bar(x+j,y,x+7+j,y+7);
                                     j:=j-8;i:=i-1;
                                     if j<0 then begin j:=0;i:=0 end;
                                     delete(st,i+1,length(st))
                                   end;
                end;
          until ch=#13;
        end;
      begin{ Text to number}
        i:=0;j:=0;st:='';res:=0;
        setfillstyle(1,1);bar(x,y,x+7,y+7);
        size:=imagesize(x,y,x+7,y+7);
        getmem(p,size);
        getimage(x+j,y,x+7+j,y+7,p^);
        repeat
          texts;
          delete(st,length(st),length(st));bar(x+j-8,y,x+7+j-8,y+7);
          val(st,num,res);
          if res<> 0 then begin j:=j-8;i:=i-1;
                                sound(1000);delay(50);
                                nosound end;
          until res=0;
        end;{Text to number}
{-------------------------------------------------------------}
{ Program : Display text on graphics,                         }
{-------------------------------------------------------------}
    procedure chardisplay(x,y:integer;var st:string);
    var  res:integer;
         num:real;
         ch:char;
         i,j:integer;
         P:pointer;
         size:word;
         data:boolean;
       procedure texts;
        begin
        repeat
        putimage(x+j,y,p^,4);delay(100);
        putimage(x+j,y,p^,0);delay(100);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            readk(ch,data);
            if data then
               if ch= #8 then
                 begin
                      setfillstyle(1,0);bar(x+j,y,x+7+j,y+7);
                      j:=j-8;i:=i-1;
                      if j<0 then begin j:=0;i:=0 end;
                      delete(st,i+1,length(st))
                  end
                 else
                    begin
                      setfillstyle(1,0);bar(x+j,y,x+7+j,y+7);
                      outtextxy(x+j,y,ch);
                      j:=j+8;i:=i+1;
                      st:=st+ch;
                    end
          else
              case ch of
              {left,del} #75,#83:begin
                                   setfillstyle(1,0);bar(x+j,y,x+7+j,y+7);
                                   j:=j-8;i:=i-1;
                                   if j<0 then begin j:=0;i:=0 end;
                                   delete(st,i+1,length(st))
                                  end;
              end;
          until ch=#13;
        end;
    begin
        i:=0;j:=0;st:='';res:=0;
        setfillstyle(1,1);bar(x,y,x+7,y+7);
        size:=imagesize(x,y,x+7,y+7);
        getmem(p,size);
        getimage(x+j,y,x+7+j,y+7,p^);
          texts;
          delete(st,length(st),length(st));bar(x+j-8,y,x+7+j-8,y+7);
    end;


{************ ARITHMATIC FUNCTION AND PROCEDURE ******************}

    function log(a:real):real;
            begin
                log:=ln(a)/ln(10)
            end;
    procedure multiple(var x,y:real;x1,y1,x2,y2:real);
            begin
                x:=((X1*x2)-(y1*y2));
                y:=((x1*y2)+(x2*y1))
            end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    procedure conjugate(var x,y:real;x1,y1,x2,y2:real);
              var xm,ym,b:real;
              begin
                  multiple(xm,ym,x1,y1,x2,-y2);
                  b:=sqr(x2)+sqr(y2);if b=0 then b:=1e-10;
                  x:=xm/b;
                  y:=ym/b
              end;
    procedure magnitude(var mag:real;x,y:real);
              begin
                  mag:=sqrt(sqr(x)+sqr(y))
              end;
    procedure installgraph;
              var
                 grv,grm:integer;
              begin
                  grv:=detect;
                  initgraph(grv,grm,'')
              end;
    procedure funckey(var code:word);
              var regs:registers;
              begin
                  regs.ah:=$00;
                  intr($16,regs);
                  code:=regs.ax
              end;
    procedure checktext(var h,w:integer;st:string);
              begin
                  h:=textheight(st);
                  w:=textwidth(st)
              end;
    procedure window(x1,y1,x2,y2:integer);
              begin setviewport(x1,y1,x2,y2,false) end;
    procedure box(x1,y1,x2,y2:integer);
              var p:pointer;
                  size:word;
              begin
                  size:=imagesize(x1-2,y1,x2,y2);
                  getmem(p,size);
                  getimage(x1-2,y1,x2,y2,p^);
                  putimage(x1-2,y1,p^,4);
                  freemem(p,size)
              end;
    procedure recpolar(var magnit,polar:real;x,y:real);
              begin
                  magnitude(magnit,x,y);
                  polar:=arctan(y/x)
              end;
    procedure polarrec(var x,y:real;magnit,polar:real);
              begin
                 x:=magnit*(cos((polar*pi)/180));
                 y:=magnit*(sin((polar*pi)/180))
              end;
END.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unit picture;
INTERFACE
uses crt,dos,graph,ucad1;
type pic=array[1..514] of byte;
     picrecord=record
     picbuff:pic;
     end;
     Filetype = file of picrecord;
var picfile:filetype;
    i,xp1,yp1,yp2,grd:integer;
    symbol:array[0..16] of pic;
       st:string;
Procedure Openfile;
procedure rhor(x,y,va:integer);{R hor}
procedure rver(x,y,va:integer);{R ver}
procedure chor(x,y,va:integer);{C hor}
procedure cver(x,y,va:integer);{C ver}
procedure lhor(x,y,va:integer);{L hor}
procedure lver(x,y,va:integer);{L ver}
procedure pnpe(x,y,va:integer);{P east}
procedure pnpw(x,y,va:integer);{P west}
procedure pnpn(x,y,va:integer);{N north}
procedure pnpd(x,y,va:integer);{0 down}
procedure npne(x,y,va:integer);{0 east}
procedure npnw(x,y,va:integer);{0 west}
procedure npnn(x,y,va:integer);{0 north}
procedure npnd(x,y,va:integer);{0 down}
procedure marks(state:real);
procedure plotcircuit(zs,zl,mat1,mat2,mat3,state:real;ch:char;
                      nll,ncc:integer);
IMPLEMENTATION
Procedure Openfile;
 var k:byte;picrec:picrecord;
 begin k:=0;
     assign(picfile,'graph.pic');
     reset(picfile);
     repeat
     seek(picfile,k);
     read(picfile,picrec);
     with picrec do symbol[k]:=picbuff;
     k:=k+1;
     until k=14;
     close(picfile);
 end;{Openfile}
procedure rhor(x,y,va:integer);{R hor}
        begin
          str(va,st);
          putimage(x,y,symbol[0],1);
          outtextxy(x+30,y+10,'R'+st);
        end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure rver(x,y,va:integer);{R ver}
          begin
             str(va,st);
             putimage(x+1,y,symbol[1],1);
             outtextxy(x+50,y+18,'R'+st);
          end;
procedure chor(x,y,va:integer);{C hor}
          begin
             str(va,st);
             putimage(x,y,symbol[2],1);
             outtextxy(x+50,y+10,'C'+st);
          end;
procedure cver(x,y,va:integer);{C ver}
          begin
             str(va,st);
             putimage(x,y,symbol[3],1);
             outtextxy(x+50,y+30,'C'+st);
          end;
procedure lhor(x,y,va:integer);{L hor}
          begin
             str(va,st);
             putimage(x,y,symbol[4],1);
             outtextxy(x+30,y+5,'L'+st);
          end;
procedure lver(x,y,va:integer);{L ver}
          begin
             str(va,st);
             putimage(x,y,symbol[5],1);
             outtextxy(x+50,y+18,'L'+st);
          end;
procedure pnpe(x,y,va:integer);{P east}
          begin
             str(va,st);
             putimage(x,y,symbol[6],1);
             outtextxy(x+50,y+20,'Q'+st);
          end;
procedure pnpw(x,y,va:integer);{P west}
          begin
             str(va,st);
             putimage(x,y,symbol[7],1);
             outtextxy(x+10,y+20,'Q'+st);
          end;
procedure pnpn(x,y,va:integer);{N north}
          begin
             str(va,st);
             putimage(x,y,symbol[8],1);
             outtextxy(x+30,y+30,'Q'+st);
          end;
procedure pnpd(x,y,va:integer);{Q down}
          begin
             str(va,st);
             putimage(x,y,symbol[9],1);
             outtextxy(x+30,y+10,'Q'+st);
          end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure npne(x,y,va:integer);{Q east}
        begin
           str(va,st);
           putimage(x,y,symbol[10],1);
           outtextxy(x+50,y+20,'Q'+st);
        end;
procedure npnw(x,y,va:integer);{Q west}
        begin
           str(va,st);
           putimage(x,y,symbol[11],1);
           outtextxy(x+10,y+20,'Q'+st);
        end;
 procedure npnn(x,y,va:integer);{Q north}
        begin
           str(va,st);
           putimage(x,y,symbol[12],1);
           outtextxy(x+30,y+30,'Q'+st);
        end;
 procedure npnd(x,y,va:integer);{Q down}
        begin
           str(va,st);
           putimage(x,y,symbol[14],1);
           outtextxy(x+30,y+10,'Q'+st);
        end;
procedure marks(state:real);
     BEGIN
if state>3 then begin yp1:=60;yp2:=(yp1 div 2) end
  else yp1:=getmaxy div 2;
 xp1:=10;
 grd:=yp1+50
 end;
procedure plotcircuit(zs,zl,mat1,mat2,mat3,state:real;ch:char;
                      nll,ncc:integer);
procedure ground;
        begin
        line(xp1-10,yp1+75,xp1+10,yp1+75);end;

begin
    circle(xp1+2,yp1+24,3);
  if zs<>0 then
    begin if zs>0 then begin inc(nll);lhor(xp1,yp1,nll) end
          else begin inc(ncc);chor(xp1,yp1,ncc) end;
          xp1:=xp1+71 end
    else begin line(xp1,yp1+24,xp1+40,yp1+24);xp1:=xp1+40 end;
  circle(xp1+2,yp1+24,3);
  if mat1<>0 then
    begin circle(xp1+2,yp1+24,3);
    if mat1>0 then begin inc(nll);lver(xp1-35,yp1+25,nll) end
          else begin inc(ncc);cver(xp1-35,yp1+25,ncc) end;
          xp1:=xp1;ground end;
  circle(xp1+2,yp1+24,3);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    if mat2<>0 then
       begin circle(xp1+2,yp1+24,3);
             if mat2>0 then begin inc(nll);lhor(xp1,yp1,nll) end
             else begin inc(ncc);chor(xp1,yp1,ncc) end;
             xp1:=xp1+71 end
       else begin line(xp1,yp1+24,xp1+40,yp1+24);xp1:=xp1+40 end;
    circle(xp1+2,yp1+24,3);
    if mat3<>0 then
       begin circle(xp1+2,yp1+24,3);
             if mat3>0 then begin inc(nll);lver(xp1-35,yp1+25,nll) end
             else begin inc(ncc);cver(xp1-35,yp1+25,ncc) end;
             xp1:=xp1; ground end;
    circle(xp1+2,yp1+24,3);
    if z1<>0 then
       begin circle(xp1+2,yp1+24,3);
             if z1>0 then begin inc(nll);lhor(xp1,yp1,nll) end
             else begin inc(ncc);chor(xp1,yp1,ncc) end;
             xp1:=xp1+71 end
             else begin line(xp1,yp1+24,xp1+40,yp1+24);xp1:=xp1+40 end;
    circle(xp1+2,yp1+24,3);
    if state<>0 then
                begin  circle(xp1+2,yp1+24,4);inpne(xp1,yp1,trunc(state));
                       line(xp1+36,yp1+50,xp1+36,grd);
                       line(xp1+36,yp1,xp1+36,yp1-15);
                       xp1:=xp1+36;
                       yp1:=yp1-40;
                       line(xp1-10,grd,xp1+10,grd);
                end
              else  begin line(xp1,yp1+24,xp1+40,yp1+24);xp1:=xp1+40;
                    circle(xp1+2,yp1+24,2) end;
end;

end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช , อ. กฤดากร กล่อมการ ที่ได้ให้แนวความคิด และคำแนะนำ และ เอื้อเฟื้อสถานที่, อุปกรณ์ จนปริญญาณนิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. อาจหาญ สัตยานักษ์," การประยุกต์ใช้เทอร์โบปาสคาล 4.0, 5.0 กับ CAI " วรสารไมโครคอมพิวเตอร์,ฉบับที่ 50,2532,หน้า 267-273
2. ถวิล กิ่งทอง," ทฤษฎีโครงข่ายไฟฟ้าและสายส่ง " , คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 235 หน้า , 2531
3. ถวิล พึ่งมา, " การออกแบบวงจรทางโทรคมนาคม ", คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 251 หน้า, 2530
4. บุญเลิศ เอี่ยมทัศนา, " เรียนรู้ภาษาปาสคาล ", หจก เอช เอน การพิมพ์, 184 หน้า, 2530
5. สุรศักดิ์ สงวนพงษ์, " เทคนิคการเขียนโปรแกรมชั้นสูง แอดวานซ์เทอร์โบปาสคาล version 4.0 ", 199 หน้า, 2532
6. บุญเลิศ เอี่ยมทัศนา, " คู่มือเทอร์โบปาสคาล รุ่น 4.0, 5.0 ", หจก. เอช เอน การพิมพ์, 227 หน้า, 2532
7. Ralph S. Carson, " High Frequency Amplier ", John wiley & Sons, 291 P, 1982
8. SAMEL Y.LIAO, " Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design ", Prentice-hall, 480 P,1987
9. Borland, " TURBO PASCAL 4.0 ", Borland international , 654 P, 1987

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้