สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบวงจรความถี่สูงด้วยวิธีการคำนวณและสมิธชาร์ต

RF POWER TRANSMITTING DESIGN

โดย

นายจิรพัฒน์	สุรกิตย์	39012004
นายชัยรัตน์	ภู่ประพันธ์	39012007
นายชนะภูมิ	รังษีธนะไพศาล	39012012

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 86761
วัน,เดือน,ปี 14 ส.ค. 2552
.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบวงจรความถี่สูงด้วยวิธีการคำนวณและสมิธชาร์ต

RF POWER TRANSMITTING DESIGN

โดย

นายจิรพัฒน์	สุรกิตย์	39012004
นายชัยรัตน์	ภู่ประพันธ์	39012007
นายธนะภูมิ	รังษีธนะไพศาล	39012012

ภาควิชา เทคนิคอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช

อาจารย์อรลาภ แสงอรุณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์อรลาภ แสงอรุณ)

.....กรรมการ

(.....)

.....กรรมการ

(.....)

.....กรรมการ

(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบวงจรความถี่สูงด้วยวิธีการคำนวณและสมิธชาร์ต	
นักศึกษา	นาย จิรพัฒน์ สุรกิตย์	39012004
	นาย ชัยรัตน์ ภู่ประพันธ์	39012007
	นาย ธนะภูมิ รังษีธนะไพศาล	39012012
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช	
	อาจารย์อรลาภ แสงอรุณ	
ระดับการศึกษา	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต	
ปีการศึกษา	พ. ศ. 2540	

บทคัดย่อ

เนื่องจากในการส่งคลื่นความถี่สูงนั้น มักมีความผิดพลาดของสัญญาณในด้านรับ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องแก้ไขความผิดพลาดของสัญญาณในทางด้านรับ ให้มีการรับสัญญาณส่งผ่านได้สูงที่สุด หรือเทียบเท่ากับสัญญาณที่ด้านส่ง ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นโปรแกรมที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการช่วยออกแบบวงจรขยายความถี่สูง รวมถึงความสามารถในการคำนวณโดยใช้ตัวโปรแกรมและการคำนวณจากสมิธชาร์ต เพื่อทำให้เกิดความรวดเร็วในการคำนวณ และไม่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการคำนวณ ซึ่งในโครงงานนี้ยังได้ยกตัวอย่างการออกแบบวงจรขยายความถี่สูงอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT	RF POWER TRANSMITTING DESIGN	
NAME	Mr. JIRAPAT SURAKIT	39012004
	Mr. CHAIRAT PHUPRAPHAN	39012007
	Mr. THANAPHUM RUNGSITHANAPAISAL	39012012
ADVISOR	KANOK JANCHITRAPONGVEJ	
	ORNLARP SEANGAROON	
LEVEL OF STUDY	Bachelor Degree In Industrial Electronic	
ACADEMIC YEAR	1997	

ABSTRACT

In the RF Power Transmitting system, distortion normally occurred at the output of the receiver. Therefore, it is necessary to correct distortions and optimize the signal to have maximum power signal at the receive side. This project describes the programming of the RF Power Transmitting circuit, Including the RF calculation by using Z-MATCH programming together with the aid of smith chart for fast algorithm and least deteriorated in calculation. In addition, this programming also has the capabilities for various kind of network matching. Herein, some example of the RF Transmitting circuits matching are carried out.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา PROJECT 2 ปีการศึกษา 2540 ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณท่าน รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช อาจารย์อรลาภ แสงอรุณ และอาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่าน ซึ่งให้คำปรึกษาและแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน จึงทำให้ผลงานชิ้นนี้สำเร็จลงได้

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำ ขอขอบคุณคณะอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาให้กับกลุ่มผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ

ABSTRACT

กิตติกรรมประกาศ

ทฤษฎีและหลักการ 1

- วงจรขยายความถี่วิทยุใช้ทรานซิสเตอร์
- ทรานซิสเตอร์ความถี่สูง
- วงจรขยายพื้นฐาน

การออกแบบวงจรอิมพีแดนซ์แมทชิ่ง 13

- การแปลงวงจรจากอนุกรมไปเป็นวงจรขนาน
- การแปลงวงจรจากขนานไปเป็นวงจรอนุกรม
- แบบต่าง ๆ ของ Matching Network

การใช้งาน Smith Chart 31

- เส้นกลางแนวนอนของสมิธชาร์ด
- วงกลมแทนรีแอคแตนซ์และคอนดักแตนซ์
- เส้นโค้งแทนรีแอคแตนซ์และคอนดักแตนซ์
- การพล็อตอิมพีแดนซ์เชิงซ้อน
- การหาค่าแอดมิแตนซ์ Yl เมื่อทราบค่าอิมพีแดนซ์ Zl

การออกแบบ Matching ของ RF Amplifier 42

- การใช้ S Parameter
- การใช้ Y Parameter

การสร้าง Inductance ให้ได้ค่าตามต้องการ 57

การคำนวณวงจร Matching 60

ภาคผนวก

บรรณานุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทนำ

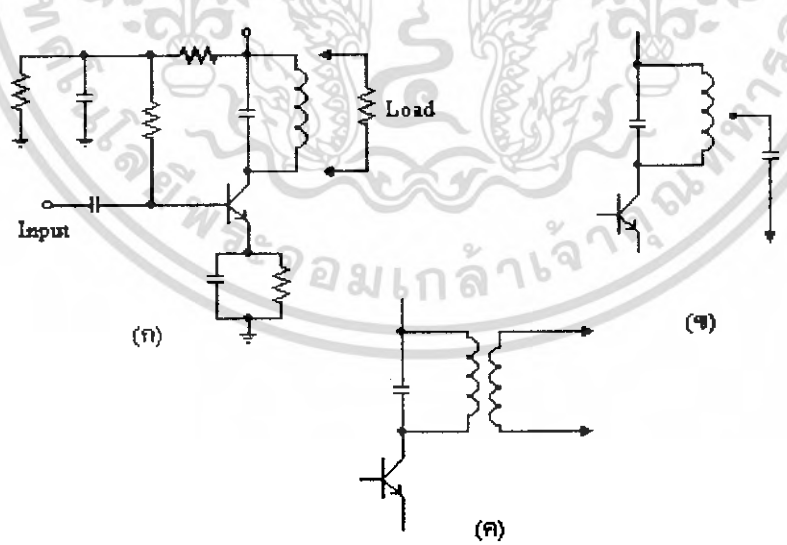
การสื่อสารในปัจจุบันได้แบ่งออกเป็นหลายย่านความถี่ ซึ่งแต่ละย่านความถี่ก็ยังมีการใช้งานในจุดประสงค์ที่แตกต่างกันไป เช่น ในย่านความถี่สูงยิ่งที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารผ่านดาวเทียม ซึ่งมีความถี่ที่ใช้งานเป็นกิกะเฮิรตซ์ หรือในย่านความถี่ ที่ต่ำกว่า ไม่ว่าจะเป็นย่าน VHF หรือ HF ล้วนแล้วแต่จำเป็นในการสื่อสารทั้งสิ้นโดยเฉพาะในย่าน HF ซึ่งเป็นย่านที่เรียกกันว่าย่านคลื่นฟ้า เพราะว่าคลื่นวิทยุความถี่ HF ที่ส่งออกไปสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ไกล ๆ โดยอาศัยการสะท้อนคลื่นจากชั้นบรรยากาศของโลกช่วย ในย่านความถี่ HF นี้มักใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างการเดินเรือเป็นส่วนมาก แต่ปัญหาในการติดต่อสื่อสารในย่านนี้ก็คือ ความยาวคลื่นจะยาว ทำให้การออกแบบสายอากาศมีความยาวมากกว่าย่านความถี่สูงมาก ทำให้ไม่สะดวกในการติดตั้ง แต่ถ้าใช้สายอากาศที่ออกแบบให้เล็กลง จะต้องเพิ่มกำลังวัตต์ในการส่งให้มากขึ้นแทน ซึ่งการเพิ่มกำลังวัตต์นี้จะอาศัยวงจร RF POWER AMP ในการเพิ่มกำลังวัตต์การทำงานของวงจร RF POWER AMP ในการออกแบบวงจรขยายความถี่ ส่วนมากมักจะมีปัญหาการทำงานของวงจร เช่น การออสซิลเลท หรือว่าเสถียรภาพของวงจรไม่ดีพอ และรวมถึงการส่งผ่านของสัญญาณจากวงจรไปยังโหลดมีค่าไม่สูงพอตามต้องการ ซึ่งปัญหาเหล่านี้มักเกิดจากการคำนวณวงจรที่ออกแบบผิดพลาดจึงทำให้วงจรเหล่านั้นเกิดขึ้นโดยเฉพาะอุปกรณ์จำพวก อินดักเตอร์ และคาปาซิเตอร์ และ การเลือกใช้ทรานซิสเตอร์ในย่านความถี่ที่ต้องการรวมถึงระดับแรงดัน และกระแสที่ป้อนให้กับทรานซิสเตอร์ ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้เป็น องค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบวงจรขยายทางด้านความถี่สูงมาก โดยค่าของคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ต้องพิจารณาจากค่าอิมพีแดนซ์เป็นหลัก และในการออกแบบวงจรขยายย่านความถี่สูงนี้ สิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาคือค่า แมทชิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและหลักการ

วงจรขยายย่านความถี่วิทยุโดยใช้ทรานซิสเตอร์

วงจรขยายย่านความถี่วิทยุแบบอิมิตเตอร์ร่วม แสดงให้เห็นดังวงจรรูปที่ 1.1 สังเกตุว่าโหลด (Load) ของวงจรเป็น วงจรรีโซแนนซ์(Resonance) ซึ่งถ้าพิจารณาแล้วจะเห็นว่าเป็นโหลดที่มีค่าความต้านทานต่ำมาก ดังนั้นจึงต้องต่อเนื่องให้แมท(Match) กับอินพุท(Input) ของวงจรในภาคต่อไป วงจรที่ต่อเชื่อมเข้ากับอินพุทของวงจรขยายภาคต่อไปแสดงให้เห็นดังรูปที่ 1.1 (ข.) เป็นวงจรรีโซแนนซ์ที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำที่มีการ แทป (Tap) แบ่งโดยมีตัวเก็บประจุเป็นทางผ่านของสัญญาณอีกตัวหนึ่ง ส่วนในรูปที่ I.1 (ก.) โหลดจะต่อกับหม้อแปลง ถ้าหากเราเลือกจำนวนขดของวงจรด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิให้เหมาะสม ก็จะทำให้การแมทเกิดขึ้นได้ ตามปกติแล้ว เอาท์พุทอิมพิแดนซ์(Output Impedance) ของวงจรขยายทรานซิสเตอร์ มักจะมีค่าต่ำดังนั้นเรา จึงมีวิธีในการต่อโหลดที่เป็นรีโซแนนซ์อีกแบบหนึ่งดังวงจรในรูปที่ 1.1 (ค.)



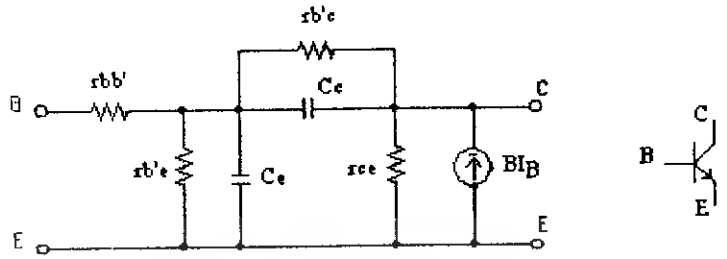
รูป 1.1 วงจรขยายที่มีโหลดเป็นวงจรรีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวงจรในรูปที่ 1.1 เราจะเห็นว่าโหลดของวงจรจะต่อในลักษณะเป็นวงจรรีโซแนนซ์ ซึ่งความถี่ของสัญญาณกับค่าตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำจะมีผลต่อกันอย่างมาก ในการออกแบบ หรือวิเคราะห์วงจรขยายย่านความถี่วิทยุนี้เราจึงต้องคำนึงถึงตัวเก็บประจุที่มีอยู่ภายในตัวทรานซิสเตอร์ประกอบด้วย เพราะตัวเก็บประจุเหล่านี้จะเหมือนกับต่อขนานอยู่กับวงจรรีโซแนนซ์ ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรรีโซแนนซ์เปลี่ยนไปเนื่องจากวงจรขยายสัญญาณย่านความถี่วิทยุซึ่งเป็นสัญญาณที่มีความถี่สูง ดังนั้นผลของสัญญาณจึงมีผลต่อค่าตัวอุปกรณ์อย่างยิ่ง ค่าตัวเก็บประจุในตัวทรานซิสเตอร์จะมีผลอย่างมากกับวงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุนี้ จากเหตุผลของการคายและรับประจุของตัวเก็บประจุซึ่งจะมีผลต่อเวลาการคายและรับประจุ ดังนั้นที่ความถี่สูง ๆ ผลเหล่านี้ก็จะปรากฏออกมาเด่นชัด ผู้ผลิตทรานซิสเตอร์ได้คำนึงถึงผลเสียของสิ่งเหล่านี้แล้วจึงได้พยายามทำให้ตัวเก็บประจุเหล่านี้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ สำหรับทรานซิสเตอร์สมัยใหม่ ที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้ใช้ได้กับความถี่สูงมาก (จะมีค่าตัวเก็บประจุเหล่านี้น้อยมาก ๆ และกรรมวิธีในการผลิตที่จะให้ผลเหล่านี้ดีขึ้นจะต้องให้บริเวณเนื้อสารที่เป็นเบส(Base) แคบมาก ๆ ซึ่งก็จะมีผลต่อกระแสด้วย ดังนั้นทรานซิสเตอร์ ที่ใช้ในย่านความถี่สูงส่วนใหญ่จึงให้กำลังงานเอาท์พุท (Output)ได้ต่ำ

วงจรแอมปลิไฟเออร์ (amplifier) ที่ทำงานในความถี่ระดับ RF นั้น ทรานซิสเตอร์(Transistor) ที่ใช้ในวงจรแอมปลิไฟเออร์จะเป็นอุปกรณ์แบบอิมเพอร์เฟค (Imperfect Device) ซึ่งทำให้คุณสมบัติของอุปกรณ์แปรผันตามความถี่ ดังนั้นการวิเคราะห์วงจรเสมือนของทรานซิสเตอร์อันได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์(Input impedance) เอาท์พุทอิมพีแดนซ์(Output Impedance) ฟีดแบคชาแรกเตอร์ริสติก(Feedback Characteristics) และเกน(Gain) ล้วนเป็นคุณสมบัติที่ควรแก่การพิจารณาทั้งนี้รวมทั้ง การพิจารณาการออกแบบวงจรแอมปลิไฟเออร์โดยอาศัย S Parameter หรือ Y Parameter ที่ถูกกำหนดมาในคาต้าชีท วงจรเสมือนของทรานซิสเตอร์ เมื่อใช้งานในย่านความถี่สูง เราสามารถเขียนวงจรเสมือนของทรานซิสเตอร์ในรูปของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุอินดักเตอร์ เมื่อทำงานที่ระดับความถี่ RF จึงสามารถอธิบายคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ดังรูป 1.2 ซึ่งอยู่ในรูปแบบ คอมมอนอิมิเตอร์(Common Emitter) และรู้จักในชื่อว่า ไฮบริดพายโมเดล(Hybrid - π Model)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 วงจรเสมือนของทรานซิสเตอร์แบบคอมมอนอิมิตเตอร์

$r_{bb'}$ - Base Spreading Resistance เป็นความต้านทานที่เกิดที่ขั้วของขา Base หรือหน้าสัมผัสของสารกึ่งตัวนำของเบสค่านี้จะอยู่ในหน่วย โอห์ม(Ohms) ทรานซิสเตอร์ยิ่งมีขนาดเล็กค่านี้จะยิ่งมาก

$r_{b'e}$ - Input Resistance เป็นความต้านทานที่รอยต่อระหว่างเบสและอิมิตเตอร์เมื่อทรานซิสเตอร์อยู่ในสถานะ Forward Bias จะมีค่าประมาณ 1000 Ohms

$r_{bc'}$ - Feedback Resistance เป็นความต้านทานที่มีค่ามาก (ประมาณ 5 Mohms) เมื่อความต้านทานอยู่ระหว่างขาเบสและอิมิตเตอร์

$r_{ec'}$ - Output Resistance เป็นค่าความต้านทานของทรานซิสเตอร์เมื่อมองจากขาคอลเลคเตอร์(Collector) เข้าไปค่าความต้านทานนี้ประมาณ 100 K.

Ce - Emitter Diffusion Capacitance ซึ่งเป็นผลรวมของ Emitter Diffusion Capacitance และ Emitter Junction Capacitance เป็น คาปาซิแตนซ์(Capacitance) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของหน้าสัมผัสของสารกึ่งตัวนำและเนื่องจาก Junction Capacitance มีขนาดเล็ก ดังนั้น Ce จึงเทียบเท่ากับ Diffusion Capacitance มีค่าประมาณ 100 pF

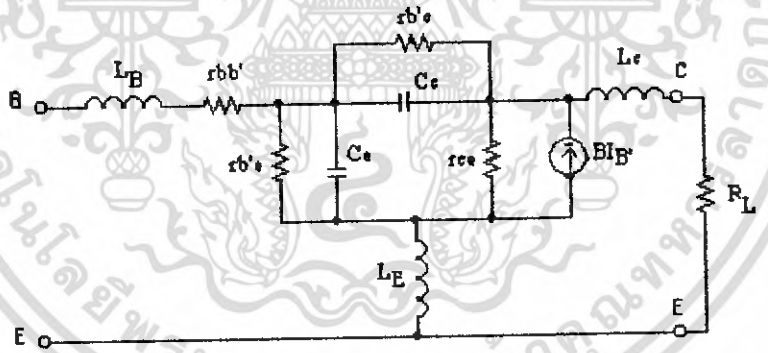
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cc - Feedback Capacitance เป็นองค์ประกอบที่เกิดจากการไบอัสย้อนกลับที่ขั้วสัมผัสระหว่างคอลเลคเตอร์และเบสเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่า Cc จะยิ่งมีผลต่อการทำงานของทรานซิสเตอร์ปกติ Cc จะมีค่าประมาณ 3 pF

ดังแสดงในรูปที่ 1.2 จะมีแหล่งกำเนิดกระแส (Current Source) ขนาด BIB โดยค่า β คือค่า small Signal AC Current Gain

ในขณะที่ I_S คือ กระแสที่ไหลผ่าน $V_{b'E}$ แหล่งกำเนิดกระแสที่ขาคอลเลคเตอร์แสดงว่ากระแสที่คอลเลคเตอร์จะมีค่าไม่คงที่ โดยขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลผ่านเบสซึ่งเท่ากับ β เท่าของ I_B

วงจรเสมือนรูปที่ 1.2 เป็นวงจรเสมือนที่เกิดจากสารกึ่งตัวนำที่ประกอบขึ้นเป็นทรานซิสเตอร์เท่านั้นแต่โดยแท้แล้ว เมื่อนำทรานซิสเตอร์มาใช้งานจำเป็นต้องมีสายต่อภายนอก และที่ความถี่สูงสายต่อขนาดสั้นที่มาต่อก็จะมีคุณสมบัติเป็น L ออกมาดังนั้นวงจรเสมือนทรานซิสเตอร์จึงมีดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงวงจรเสมือนของทรานซิสเตอร์เมื่อรวมผลของสายต่อ

จากรูปที่ 1.2 และรูปที่ 1.3 แสดงว่าคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ที่ทความถี่สูงจะถูกแทนได้ว่าอุปกรณ์ R L และ C ที่ค่อนข้างยุ่งยากและแสดงให้เห็นว่าย่านความถี่สูง เราจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ องค์ประกอบของทรานซิสเตอร์อย่างลึกซึ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเหตุผลของการคายและรับประจุของตัวเก็บประจุซึ่งจะมีผลต่อเวลาการคายและรับประจุ ดังนั้นที่ความถี่สูง ๆ ผลเหล่านี้ก็จะปรากฏออกมาเด่นชัด ผู้ผลิตทรานซิสเตอร์ได้คำนึงถึงผลเสียของสิ่งเหล่านี้แล้วจึงได้พยายามทำให้ตัวเก็บประจุเหล่านี้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้ สำหรับทรานซิสเตอร์สมัยใหม่ที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อให้ใช้ได้กับความถี่สูงมากอาจจะอยู่ในย่านความถี่สูงมาก (จะมีค่าตัวเก็บประจุเหล่านี้น้อยมาก ๆ และกรรมวิธีในการผลิตที่จะให้ผลเหล่านี้ดีขึ้น จะต้องให้บริเวณเนื้อสารที่เป็นเบสแคบมาก ๆ ซึ่งก็จะมีผลต่อกระแสด้วย ดังนั้นทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในย่านความถี่สูงส่วนใหญ่จึงให้กำลังงานเอาท์พุทได้ต่ำ

ทรานซิสเตอร์ความถี่สูง

กรรมวิธีในการผลิตทรานซิสเตอร์ เพื่อให้ใช้ได้ที่ความถี่สูงเป็นสิ่งที่ละเอียดอ่อน ผลสำเร็จในการผลิตทรานซิสเตอร์ความถี่สูงเป็นสิ่งที่ท้าทายความสามารถของมนุษย์มาก จนกระทั่งในปัจจุบันทรานซิสเตอร์ได้ถูกนำมาใช้จนถึงย่านความถี่ไมโครเวฟ

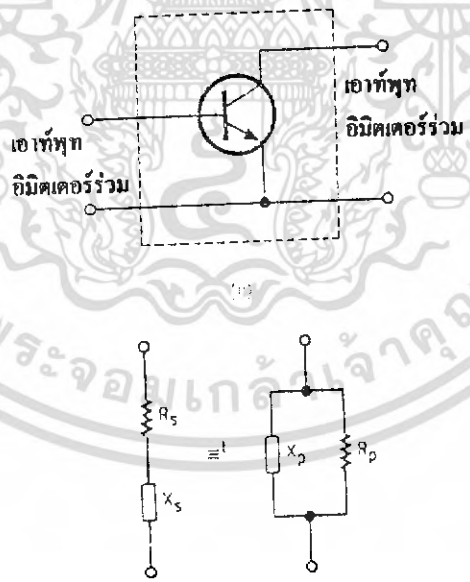
ตัวพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในการบอกคุณสมบัติพิเศษของทรานซิสเตอร์มีด้วยกันหลายตัวด้วยกัน ตัวพารามิเตอร์เหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับความถี่นั่นเอง ตัวพารามิเตอร์ที่เราใช้กันเป็นประจำได้แก่

1. f_{max} คือความถี่สูงสุดที่ทรานซิสเตอร์ยังสามารถออสซิลเลทให้สัญญาณออกมาได้
2. h_{fe} หรือ B_p ใช้เป็นตัวบอกค่าอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ โดยปกติที่ความถี่ต่ำ (โดยปกติใช้ 1 KH_z)
3. f_x เป็นความถี่ใช้งานของทรานซิสเตอร์ ที่ต่อในลักษณะเบสร่วมที่ให้ค่าอัตราขยายเป็น 1
4. f_{oc} เป็นความถี่คัทออฟ สำหรับวงจรทรานซิสเตอร์ที่ต่อในลักษณะอิมิตเตอร์ร่วม และที่ความถี่นี้อัตราขยายจะลดลง 3 dB เมื่อเทียบกับอัตราขยายที่ความถี่ต่ำ ๆ
5. f_t เป็นความถี่ที่ทำให้วงจรทรานซิสเตอร์ที่ต่อในลักษณะอิมิตเตอร์ร่วม มีอัตราขยายเป็น 1 ค่า ๆ นี้บางครั้งจะเรียกว่าค่าผลคูณระหว่างอัตราขยายกับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นสิ่งที่จะต้องนำมาคำนึงถึงอย่างยิ่ง เช่นถ้าต้องการให้วงจรออสซิลเลทหรือขยายสัญญาณที่ความถี่ 100 MH_z ก็มิได้หมายความว่าถ้าใช้ทรานซิสเตอร์ที่มี f_{max} 100 MH_z แล้วจะใช้ได้เสมอไป เพราะทรานซิสเตอร์เบอร์เดียวกันย่อมมีผลแตกต่างกันได้บ้างอีกทั้งความถี่ f_{max} นี้ ทรานซิสเตอร์จะไม่ให้อัตราขยายเลย ดังนั้นในทางปฏิบัติเราจะตองเลือกค่า f_{max} ให้มีค่าสูงกว่าความถี่ที่ใช้งานมากกว่า 2 เท่าขึ้นไป ในทำนองเดียวกันค่าความถี่ f_t ก็คือค่าความถี่ที่ทำให้มีอัตราขยายเป็น 1 ดังนั้นถ้าทำเป็นวงจรขยายเราต้องการให้มีอัตราขยายมากกว่า 1 ดังนั้นเราจะต้องเลือก f_t ให้มีค่าสูงกว่าความถี่ที่ใช้งานเป็นจำนวนเท่ากับอัตราขยาย หรือผลคูณระหว่างอัตราขยายกับความถี่ ที่ใช้งานจะเท่ากับ f_t นั่นเอง

พิจารณาทรานซิสเตอร์ที่ถูกออกแบบมาใช้ในวงจรขยาย Common Emitter ในรูปที่ 1.4 (ก) จะแสดงการแทนทรานซิสเตอร์ด้วยบล็อกอันหนึ่ง โดยมีอินพุทเข้าที่ขาเบสและเอาท์พุทออกที่คอลเลคเตอร์



รูปที่ 1.4 การแทนทรานซิสเตอร์ด้วยบล็อกสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบล็อกดังกล่าวอาจแทนได้โดยตัวต้านทาน Rs ต่ออนุกรมกับค่ารีแอกแดนซ์ Xs ตามรูปที่ 1.4 (ข) ซึ่งค่าของ Xs จะเป็นบวกเมื่อเป็นตัวเหนี่ยวนำ และเป็นลบหากเป็นตัวเก็บประจุ หน่วยของรีแอกแดนซ์จะอยู่ในรูปของโอห์มไม่ใช่เฮนรี่หรือฟารัด

อย่างไรก็ตามหากต้องการพิจารณาค่าของอินพุทและเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ สามารถพิจารณาได้โดยการนำตัวต้านทาน และค่ารีแอคแตนซ์(Reactance)มาขนานกัน ดังรูปที่ 1.4 (ข) ซึ่งสรุปเป็นสูตรได้ดังนี้

$$R_S = (R_P X_P^{\,2}) / (R_P^{\,2} + X_P^{\,2})$$
$$X_S = (R_P^{\,2} X_P) / (R_P^{\,2} + X_P^{\,2})$$
$$R_P = (R_S^{\,2} + X_S^{\,2}) / R^2$$
$$X_P = (R_S^{\,2} + X_S^{\,2}) / X_S$$

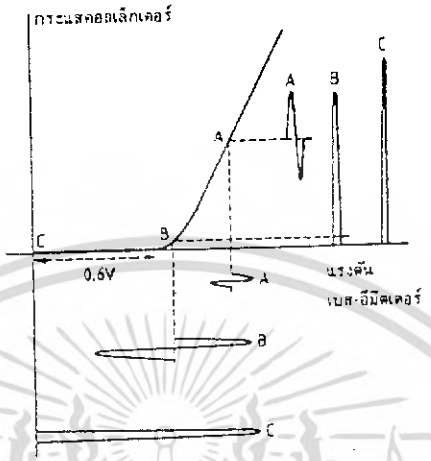
โดย Rs และ Xs เป็นค่าความต้านทานและรีแอคแตนซ์ เมื่อต่ออนุกรม Rp และ Xp เป็นค่าความต้านทานและค่ารีแอคแตนซ์ เมื่อต่อขนาน

โดยปกติมักจะเขียนความสัมพันธ์ของค่าอิมพีแดนซ์ ในรูปจำนวนเชิงซ้อนซึ่งมีค่า j (มีค่าเท่ากับ -1) เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมีความหมายถึงแรงดันและกระแสต่างเฟสกัน 90 องศา ค่าของความต้านทานจะเป็นส่วนจริง (real part) และค่าของรีแอคแตนซ์เป็นส่วนจินตภาพ (imaginary part)

วงจรขยายพื้นฐาน

คุณสมบัติที่ต่างกันของ วงจรขยายในแบบต่างๆ ทั้ง class-A class-B และ class-C จะแสดง ได้โดยความสัมพันธ์ของกระแสคอลเลคเตอร์ (Ic) กับแรงดันเบสอิมิตเตอร์ (Vbe) เมื่อ Vbe มีค่าประมาณ 0.6 V กระแส Ic ยังคงมีค่าเพิ่มขึ้นสูงกว่า 0.6 V ซึ่งเป็นจุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ กระแส Ic จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งวงจรขยายทั้ง 3 แบบ จะขึ้นกับเงื่อนไขกับไบอัส เมื่อไม่มีสัญญาณอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.5 แสดงคุณสมบัติของวงจรแบบต่างๆ

ใน class-A แรงดัน Vbe จะถูกกำหนดไว้สูงกว่า 0.6 V จึงทำให้มีกระแส Ic ไหลอยู่ค่าหนึ่งตลอดเวลา เมื่อมีสัญญาณอินพุทเข้ามาก็จะทำให้ Ic มีการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณอินพุท วงจรขยาย class-A นี้เป็นวงจรพื้นฐานที่สุด ใช้ได้ทุกความถี่เสียงไปจนถึงความถี่วิทยุ

วงจรขยาย class-A เป็นวงจรขยายที่มีความเพี้ยนน้อยมาก แต่เนื่องจากต้องมีกระแส Ic ไหลอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้เกิดความสูญเสียในรูปความร้อนสะสมในตัวทรานซิสเตอร์อยู่มาก ดังนั้น class-A จึงเหมาะกับวงจรขยายสัญญาณกำลังต่ำ

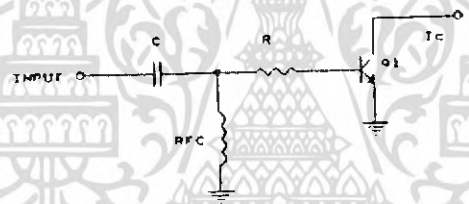
ถ้าทำการลดแรงดัน Vbe ลงมาจนกระทั่งมีกระแส Icไหลเพียงเล็กน้อยก็จะได้วงจรขยาย class-B ซึ่งทรานซิสเตอร์ถูกไบอัสไว้เหนือจุดคัทออฟเล็กน้อย สัญญาณถูกขยายเฉพาะซีกบวกของรูปคลื่นอินพุท หรือ Ic ไหลได้เพียง 180 องศา นั้นคือจะสูญเสียความเป็นเชิงเส้นแต่ประสิทธิภาพสูงขึ้นอย่างมาก

ปัญหาในเรื่องความไม่เป็นเชิงเส้นของ class-B สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว ขยายสัญญาณตัวละครึ่งคลื่นแล้วนำมารวมกันเรียกว่าการทำงานใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะ push - pull ส่วนใหญ่ไม่ค่อยพบเห็นในวงจรขยาย RF ยกเว้นในวงจรที่ใช้หลอดรุ่นเก่าๆ

วงจรขยาย class-C จะแตกต่างจาก class-B ตรงที่ทรานซิสเตอร์ถูกไบอัสให้อยู่ต่ำกว่าจุดคัทออฟ นั้นคือ Vbe มีค่าประมาณ 0 V เมื่อมีอินพุทเข้ามาค่าสูงกว่า 0.6 V จึงจะทำให้ทรานซิสเตอร์สามารถขยายสัญญาณได้ วงจรขยาย class-C มีประสิทธิภาพสูงที่สุดและจับไบอัสได้ง่ายด้วย และจะทำงานได้ดี ก็ในกรณีใช้ความถี่สูงส่วนความเพี้ยนนั้น มีมากกว่าวงจรขยายคลาส A และ คลาส B ความลิเนียร์ของอัตราขยายไม่ดี เมื่อเทียบกับวงจรขยายคลาส A และ คลาส B วงจรพื้นฐานของวงจรขยายคลาส C ดูได้จากรูป



รูปแสดง วงจรขยายคลาส C

จากรูป จะเห็นว่าการให้ไบอัสในคลาส นั้นจะไม่มีกระแสเบส ขณะที่ไม่มีสัญญาณเข้ามาทางอินพุท ทรานซิสเตอร์ ก็จะ Cut Off อยู่จนมีสัญญาณเข้าครึ่งไซเคิลบวก ทรานซิสเตอร์ ก็จะทำงาน RFC ก็จะรับกระแสส่วนหนึ่งเอาไว้เมื่อถึงไซเคิลลบ RFC ก็จะคายกระแสจ่ายทำให้ ทรานซิสเตอร์ ทำให้ ทรานซิสเตอร์ ยังไม่ Cut Off จนกระทั่ง ครึ่งไซเคิลบวก ปรากฏอีกครั้งในบางครั้งวงจรคลาส C อาจจะต้องใช้วงจรจูน Output ด้วย วงจรที่ใช้ทรานส์ฟอร์เมอร์ และคาปาซิเตอร์ประกอบ ทำให้การทำงานและการแมทชิ่งดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RF Power Amplifier

เครื่องส่งนั้นโดยปกติจะถูกออกแบบไว้มีกำลังเฉพาะที่จะใช้เท่านั้น ในการเลือกทรานซิสเตอร์จะต้องเลือกให้มี low power level of Oscillation ต่ำ ๆ ประมาณ 20 mw ก็เป็นการเพียงพอและจะต้องทำงานได้ที่ความถี่ที่สนใจใช้งาน ตลอดจนกำลังจะต้องสูงพอด้วยซึ่งเหล่านี้จะต้องมีประสิทธภาพ (Efficiency)สูงสุดเท่าที่จะทำได้

คำว่า High - gain ปกติหมายถึงการแมทระหว่าง output-resistance ของทรานซิสเตอร์ กับโหลดเพื่อให้ได้รับกำลัง ซึ่งถ่ายทอด power ไปยังโหลดได้เต็มที่อย่างไรก็ตามสิ่งที่จำเป็น 2 ประการคือ

1. ประสิทธิภาพของเครื่องจะต้องมากกว่า 50 %
2. Output voltage ของ power supply จะต้องสวิงถึงค่า peak ซึ่งสูงเพียงพอที่จะได้รับกำลังที่ต้องการ และถ้าหาก collector voltage สามารถสวิงระหว่าง saturation และได้ประมาณ 2 เท่าของ supply voltage แล้วค่า maximum power ที่ป้อนให้โหลดจะเป็น

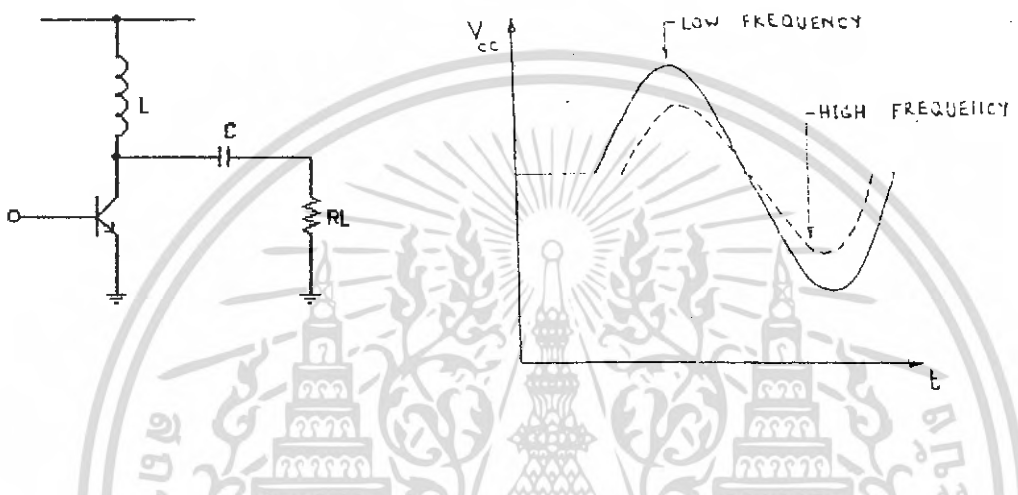
$$P = \frac{V_{rms}^2}{R} = \frac{\left[\left(V_{cc} - V_{sat} \right) \sqrt{2} \right]^2}{R_L} = \frac{\left(V_{cc} - V_{sat} \right)^2}{2 R_L}$$

Out put signal จากคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์แสดงดังในรูป 1.7 a จะจ่ายกระแสเข้าที่อินดักเตอร์และจะต้องไม่มี dc voltage drop และ collector voltage สามารถสวิงได้สูงสุดสูงกว่า power supply ทั้งนี้ต้องขอขอบพระคุณ Stored energy ใน Magnetic field ของอินดักเตอร์

ที่ตอนปลายของ cycle Transistor จะ saturate และหากมีเวลาเพียงพอแล้ว saturate voltage จะต่ำมาก (ประมาณ 0.1 V ขึ้นอยู่กับกระแส) ในการทำงานหากความถี่สูงขึ้นแล้วค่า average sat voltage จะสูงขึ้นและอาจจะถึงค่า typical Value ประมาณ 2 - 3 V ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์ที่ใช้กับ Voltage 12 V และ 3 - 4 volt กับทรานซิสเตอร์ที่ต้องจ่ายไฟให้ 28V ซึ่งตามที่กล่าวนี้จะสามารถนำไปใช้ได้เป็นอย่างดีในย่านความถี่สูง ๆ



(a) (b)

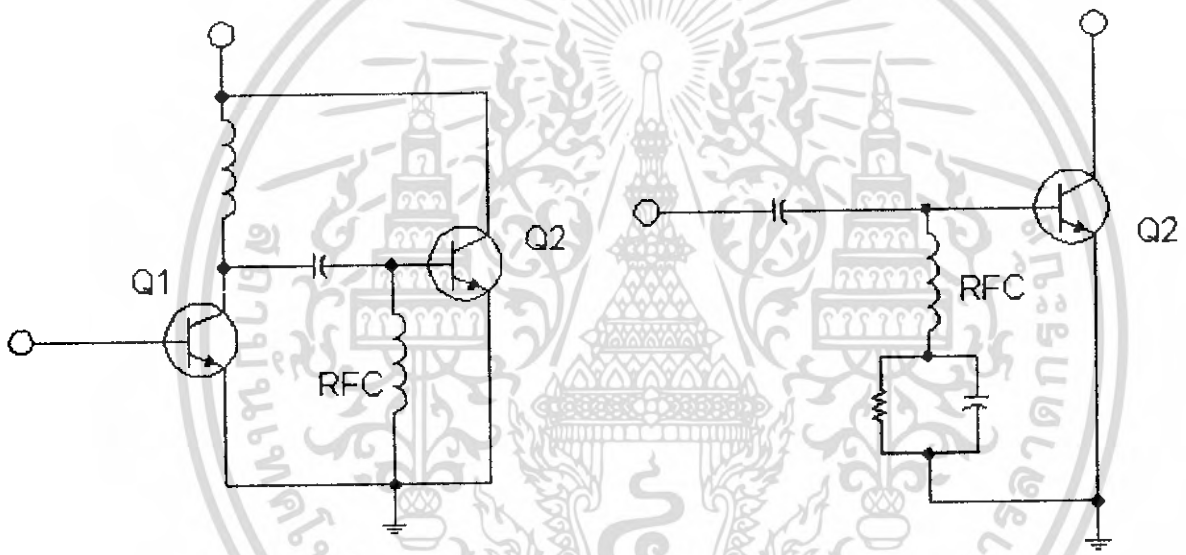
รูป 1.6 Maximum collector voltage Swing limit by power supply and collector saturation voltage

สำหรับ specification ที่จะออกแบบ นักออกแบบนิยมใช้ class c ดังรูปที่ 1.7 a ซึ่งจะหา power input ที่ต้องการที่จะมา drive Q2 ให้ได้ full output power และต้องรู้ input resistor และรีแอคแตนซ์ของทรานซิสเตอร์ของความถี่ที่ใช้และระดับของ power ที่ใช้ ซึ่งสามารถดูได้จากดาต้าชีท นักออกแบบจะออกแบบ matching ที่ง่ายที่สุดและจะ transfrom จาก input resistance ของ Q2 ไปยัง load resistance ของ Q1 ที่ Q1 ที่ต้องการ Matching Network ในรูปจะประกอบไปด้วย L กับ C เท่านั้น อินดักเตอร์ซึ่งเป็นส่วนที่ให้ Supply current ไปยังคอลเลคเตอร์ของ Q1 และจะให้ collector voltage สวิงสูงถึง 2 เท่าของ Supply voltage series Capacitor ปกติจะแยก dc จาก collector และ base เป็นการ Match ดีขึ้นส่วน RFC นั้นเป็นส่วนย่อย ๆ ในการแมท ซึ่งมีความสำคัญมากในการให้ไบอัสประการหนึ่งและการป้องกันการออสซิลเลทที่ความถี่ต่ำประการหนึ่ง และจะทำให้ Collector to base leakage current ที่มีไหลผ่านลงกราวด์ (ground) ไปได้ซึ่งเป็นข้อดี และให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reverse bias กับทรานซิสเตอร์อีกด้วยซึ่งหาก dc resistance ของ choke สูงก็จะทำให้ Bv_{ceo} ต่ำด้วยค่า input impedance รวมของ choke และทรานซิสเตอร์ก็จะประมาณได้เท่ากันกับค่าของ choke ปกติมีค่า Q ต่ำประมาณน้อยกว่า 5 ทุก ๆ choke ที่สร้างขึ้นจะเป็นการนำขดลวดมาพันหลาย ๆ รอบบน lossy ferrite core หรือใช้ค่าความต้านทานที่เป็นขดลวดก็ได้

สำหรับการเพิ่ม Reverse bias นี้อาจจะใช้ค่า R และค่า C น้อย ๆ ต่ออนุกรม กับ choke ก็ได้ จะใช้ค่า R ประมาณ 50-100 และค่า C ประมาณ 500pF - 100uF ดังรูปที่ 1.7 (b)



(a) Cascade Amplifier (b) Improve of Reversetras

รูปที่ 1.7 Matching Network

หาก load ต่ำ ๆ แล้วจะใช้ complex impedance ใช้กับทรานซิสเตอร์ RF power ทุกชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

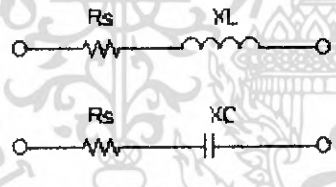
การออกแบบวงจรอิมพิแดนซ์แมทชิ่ง

(Design Impedance Matching)

วงจรอิมพิแดนซ์แมทชิ่ง มีความจำเป็นอย่างมากสำหรับระบบโทรคมนาคม เนื่องจากระบบโทรคมนาคมต้องการให้ได้ส่งกำลังงานมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ทั้งจะส่งผลถึงการลดค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณด้วย

การคำนวณวงจรแมทชิ่ง ก่อนที่จะเริ่มการคำนวณค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ควรรู้สูตรพื้นฐานในเรื่องของค่า Q (QUALITY FACTOR) ก่อน ซึ่งมีความสำคัญมากในเรื่องนี้ ในที่นี้สูตรในการคำนวณหาค่า Q มี 3 สูตรคือ

Q ตัวที่ 1 ซึ่งเป็น Q ที่เกิดจากวงจร L หรือ C ต่ออนุกรมกับ R



$Q = X_L$

$Q = X_C$

Q ตัวที่ 2 ซึ่งเป็น Q ที่เกิดจากวงจร L หรือ C ต่อขนานกับ R

$$Q = R_P \quad , \quad Q = X_L$$

Q ตัวที่ 3 ซึ่งเป็น Q เนื่องจากการต่อวงจรลักษณะขนานกับ Rp และการต่อแบบอนุกรมกับ R ในวงจรเดียวกัน $Q = (Rp - 1)/Rs$

ที่นี้มาดูในรายละเอียด จากวงจรอนุกรม

(Xs ในที่นี้อาจเป็น L หรือ C ก็ได้)

จะได้ $Z = Rs \pm jXs$ หาขนาดของมัน $|Z| = \sqrt{R_s^2 + X_s^2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z = \sqrt{\frac{jR_P X_P}{R_P + jX_P}}$$

หาขนาดของมัน $|Z| = \sqrt{\frac{(R_P * X_P)^2}{R_P^2 + X_P^2}}$, (Xp เป็น L หรือ C ก็ได้)

ในการหาค่า Q นี้เรากำหนดให้อิมพีแดนซ์ของวงจรอนุกรมเท่ากับวงจรขนาน จะได้

$$\sqrt{R_S^2 + X_S^2} = \sqrt{\frac{(R_P X_P)^2}{R_P^2 + X_P^2}}$$

ยกกำลังสองทั้งสองข้างจะได้ $R_S^2 + X_S^2 = \frac{R_P^2 X_P^2}{R_P^2 + X_P^2}$

เอา Rs^2/ Rs^2 คูณทางซ้ายของเครื่องหมายเท่ากับและ Xp^2/ Xp^2 คูณส่วนด้านขวาของเครื่องหมาย = จะได้

นั่นคือเราจะได้ Q = fc / BW

โดยที่ Fc = ความถี่คัทออฟ (Hz)

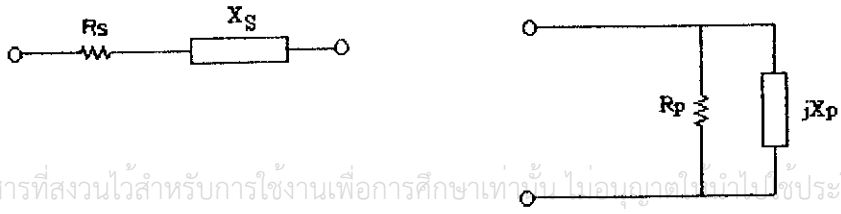
BW = แบนด์วิท (Hz)

Q = Quality Factor

แต่สิ่งที่ควรรู้ และมีความสำคัญในการคำนวณส่วนนี้คือ การแปลงวงจรอนุกรมเป็นขนานหรือจากขนานไปเป็นอนุกรม

การแปลงวงจรจากอนุกรมไปเป็นวงจรขนาน

$$Z_S = R_S + jX_S$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแอดมิตแตนซ์ $Y = \frac{1}{Z_P} = \frac{1}{R_S + jX_S}$

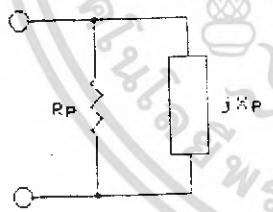
คอนจูเกต $Y = \frac{R_S + jX_S}{R_S^{\,2} + X_S^{\,2}} = \frac{R_S}{R_S^{\,2} + X_S^{\,2}} + \frac{X_S}{R_S^{\,2} + X_S^{\,2}}$

แต่ $Y = G + jB$ และ $G = \frac{1}{R_P}$; $B = \frac{1}{X_P}$

จะได้ $G = \frac{R_S}{R_S^{\,2} + X_S^{\,2}}$; $R_P = \frac{R_S^{\,2} + X_S^{\,2}}{R_S}$

$B = \frac{X_S}{R_S^{\,2} + X_S^{\,2}}$; $X_P = \frac{R_S^{\,2} + X_S^{\,2}}{X_S}$

การแปลงวงจรขนานไปเป็นวงจรอนุกรม



$Z_P = \frac{jR_P X_P}{R_P \pm X_P}$

คอนจูเกตจะได้ $Z_P = \frac{jR_P X_P}{R_P^{\,2} + X_P^{\,2}}\left(R_P + jX_P\right)$

$= \frac{jR_P^{\,2} X_P + R_P X_P^{\,2}}{R_P^{\,2} + X_P^{\,2}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

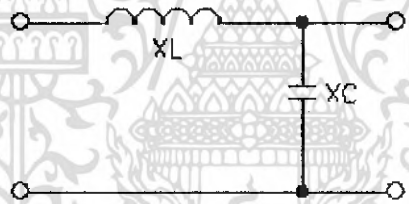
ในที่นี้เราจะให้ Zp = Zs = Rs + jXs (เพราะเหตุว่าเราต้องทำการแปลงวงจรขนานไปเป็นวงจรอนุกรม เราจึงถือว่า (อิมพีแดนซ์เท่ากัน) จะได้

$$R_S = \frac{R_P + X_P^{\,2}}{R_P^{\,2} + X_P^{\,2}} \quad ; \quad X_S = \frac{X_P + R_P^{\,2}}{R_P^{\,2} + X_P^{\,2}}$$

สูตรข้างบนต่าง ๆ นี้จะเป็นสิ่งที่ใช้ในการคำนวณเรื่องแมทชิ่งทั้งสิ้น

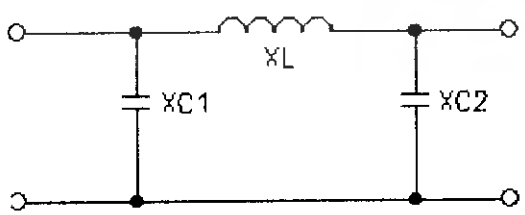
Matching Network แมทชิ่งเน็ตเวิร์คนั้นมีอยู่ 3 แบบ คือ

1. แบบรูปตัว L (L - TYPE)

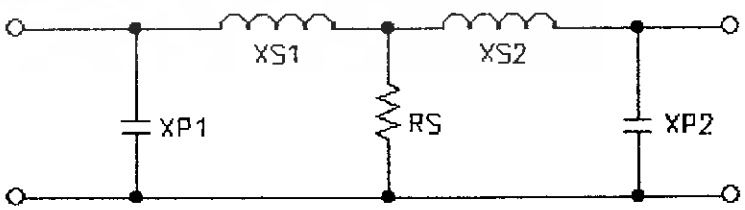


วงจรใช้งาน

2. แบบรูปตัว π (π - TYPE)



วงจรใช้งาน

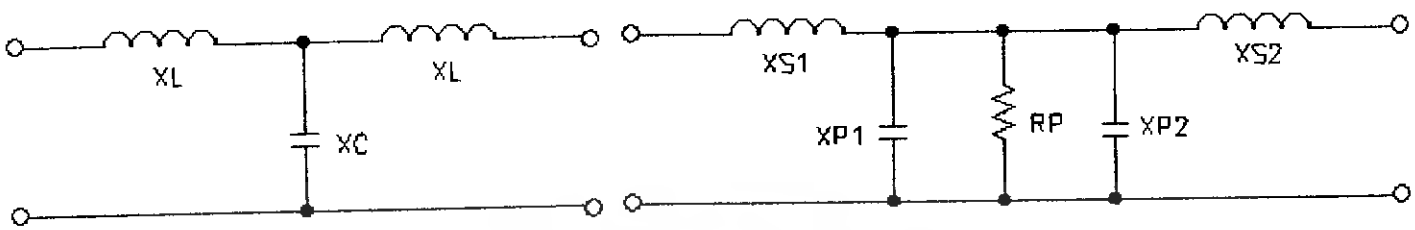


วงจรวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

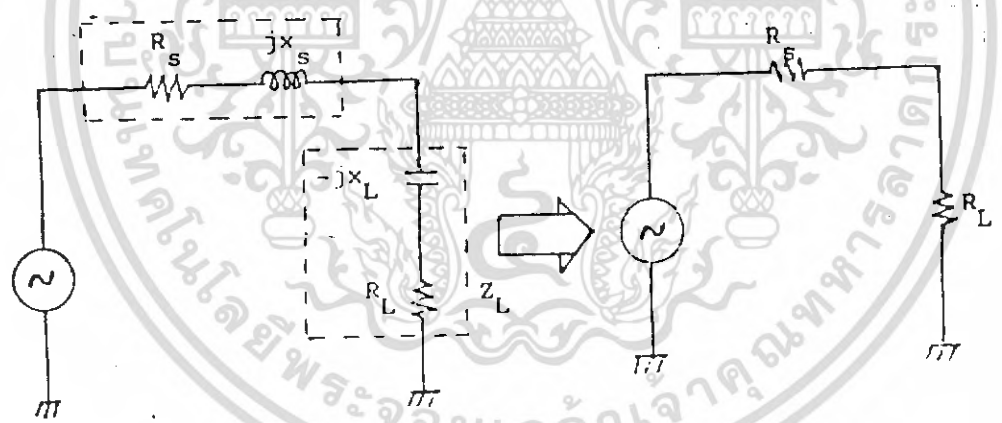
3. แบบรูป T (T - TYPE)



วงจรใช้งาน วงจรวิเคราะห์

1.การแมทชิ่งวงจรแบบ L (L Network)

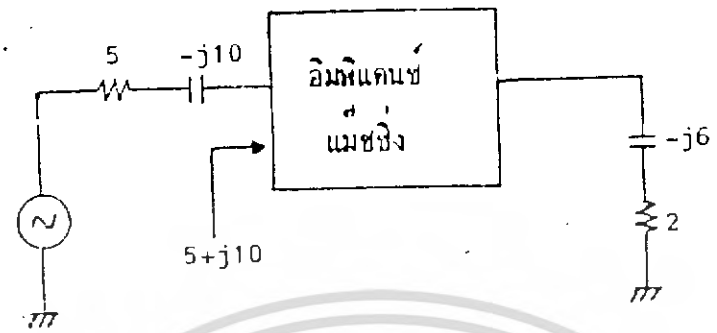
วงจรรูปตัว L ทั่วๆไปสามารถเขียนให้เป็นวงจรที่ทำการแมทแล้ว ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการแมทของ Z_sและ Z_Lอย่างง่าย

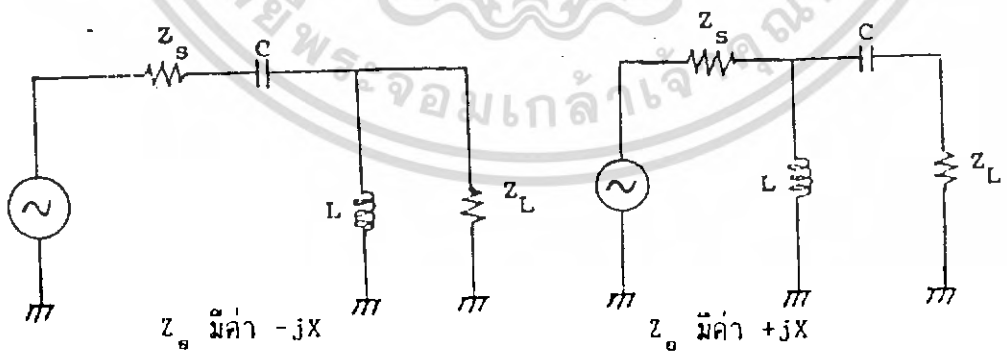
จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าการใช้ L หรือ C ถ้าเป็น C ก็จะนำโหลดที่นำค่า L เข้ามาเพื่อแก้ค่า jX ให้หายไปจึงเสมือนเหลือแต่ค่า R เท่านั้น อย่างไรก็ตามค่าของโหลดอิมพิแดนซ์และซอสอิมพิแดนซ์ ถ้าเราไม่สามารถเลือกค่าได้ตามต้องการจึงจำเป็นที่จะต้องใส่วงจร Impedance Matching เข้าไป เพื่อให้ทั้ง Z_sและ Z_L มีการแมทที่สมบูรณ์ขึ้นดังวงจรที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
86761



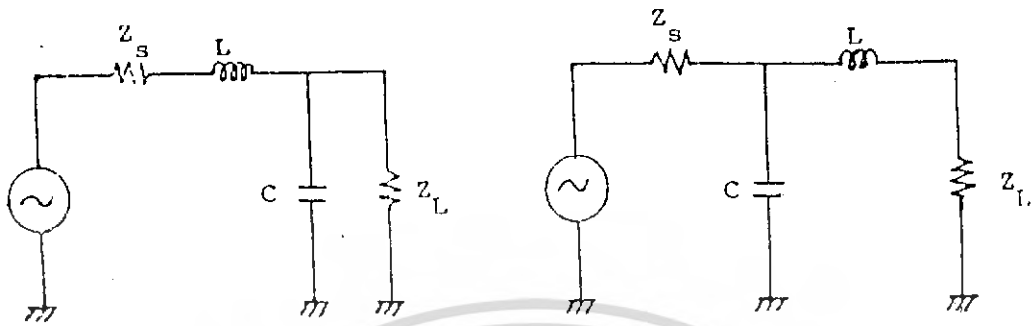
รูปที่ 2.2 แสดงการใช้วงจร Impedance Matching
เมื่อค่า Z_S และ Z_L ถูกกำหนดมาแล้ว

จากวงจรรูปที่ 2.2 ค่าของ Z_S และ Z_L ปรากฏค่าเป็นค่า - jX ทั้งคู่ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใส่วงจร Matching Impedance เข้าไปโดยให้มีคุณสมบัติเมื่อมองเข้าทางด้านทางเข้า (input) จะเห็นค่าเป็น 5+j10 เพื่อให้ แมทกับ Z_S นั้นเอง ในขณะเดียวกันทางออก (Output) ก็จะทำตัวเป็นค่า Z_S ตัวใหม่ที่มีค่า 2+j6 เพื่อให้แมทกัน ในบางครั้งจำเป็นที่จะต้องใช้วงจรกรองความถี่เข้ามาช่วยด้วย เพื่อให้ได้คุณสมบัติรวมตามต้องการ ดังนั้นจึงมีการออกแบบวงจรกรองความถี่ทั้งสูงและต่ำรูปตัว L เพื่อช่วยในการแมทชิ่ง ดังรูปที่ 2.3



a)วงจรกรองความถี่สูง

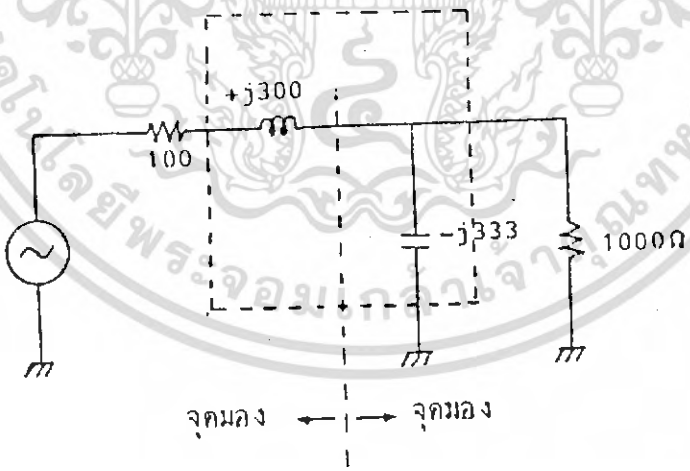
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



b)วงจรกรองความถี่ต่ำ

รูปที่ 2.3 แสดงวงจร Matching ที่เป็นวงจรกรองความถี่สูงและต่ำ

บางครั้งในการ Matching บางวงจรจะมีความยากมาก เพราะค่าต่าง ๆ ของโหลดและ Source Impedance มีค่าไม่เท่ากันเลยจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาอย่างดี เช่น วงจรตามรูปที่ 2.4 เป็นต้น



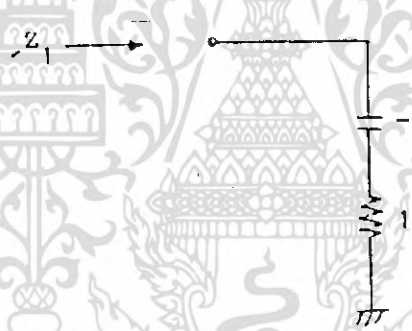
รูปที่ 2.4 แสดงวงจรแมท เมื่อโหลดมีค่าไม่เท่ากันและต้องการคุณสมบัติเป็นวงจรกรองความถี่ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 เมื่อเรามองค่าของ impedance จากเครื่องจ่ายสัญญาณจะมีค่า impedance $100\,\Omega$ แต่ถ้ามองจากโหลดเข้ามาจะมี impedance ในการวิเคราะห์การ Matching นี้ดูได้จากสมการข้างล่างนี้

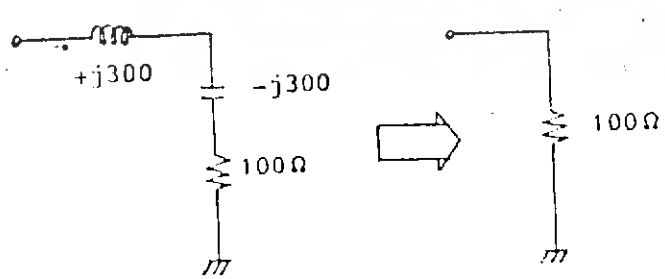
$$Z_{1.} = (X_C R_{1.})/(X_C + R_L)$$
$$= -j333(1000)/(-j333+1000)$$
$$= 315\angle -71.58$$
$$= 100 - j300\,\Omega$$

ดังนั้นจึงสามารถเขียนวงจรเมื่อมองไปทางด้านโหลดได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรเมื่อมองทางด้านโหลด

ในทำนองเดียวกันเมื่อมองจาก Load ไป Source จะเห็นค่า Impedance ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรเมื่อมองทางด้าน Source

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ได้ออกแบบวงจร Matching Impedance ก็สามารถที่จะหาค่า Q ของวงจรได้ คือ

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

$$Q_S = X_S/R_S$$

$$Q_P = X_P/R_P$$

Q_S = Q ที่ขั้วอนุกรม

Q_P = Q ที่ขั้วขนาน

R_P = ความต้านทานขนาน

X_P = รีแอกแตนซ์ที่ขนาน

R_S = ความต้านทานที่ต่ออนุกรม

X_S = รีแอกแตนซ์ที่ต่ออนุกรม

2. การ Matching complex โหลด

จากที่กล่าวมานั้นเป็นการ Matching ค่าโหลดที่เป็นค่าความต้านทานเท่านั้น ในทางปฏิบัติจริง ๆ ไม่ค่อยมีมากนัก ส่วนมากจะเป็นโหลดที่มีค่า Capacitive หรือ Inductive อยู่ด้วย ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงเป็นการออกแบบวงจร Matching ที่ใช้กับวงจรที่เป็น complex load ทั้งนี้รวมถึงการแมท impedance ของ input และ output ของวงจร Transistor สายส่งสัญญาณวงจรรวมสัญญาณ วงจรสายอากาศ และวงจรต่าง ๆ ที่ใช้ทางโทรคมนาคม

ในการหาค่าของ complex impedance จะใช้หลัก 2 ประการ คือ

1. ใช้หลักการดูดซับพลังงาน (Absorption) เมื่อทดลองใช้วงจร Matching ใส่เข้าไปแล้วป้อนสัญญาณด้วย input ถ้าวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับไม่ได้ก็แสดงว่า แมทกัน 100% คือ พลังงานถูกดูดซับหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใช้การ Resonant เมื่อทราบว่าในวงจรที่ต้องการ แมทนี้ปรากฏค่า Inductive หรือ Capacitive ก็ใช้ Capacitor หรือ inductor ต่อเข้าไปตามลำดับแล้วทำการปรับค่าจนเกิน Resonant (ดูค่าสูงสุดหรือต่ำสุดของค่า Amplitude)

3. การใช้วงจร Matching แบบใช้อุปกรณ์ 3 ตัว

ในหัวข้อก่อนได้กล่าวถึงการแมท โดยใช้อุปกรณ์ L , C 2 ตัว ต่อเป็นรูปแอล (L) โดยวงจรรูปตัวแอลนี้สามารถแมทวงจรที่เป็นรูปง่าย ๆ เช่น มีค่า impedance เป็น R + jX หรือ R - jX เท่านั้น และในการใช้วงจรรูปตัวแอลก็ไม่สามารถควบคุมค่า Q ให้ตามต้องการ เมื่อต้องการค่า Q สูง ๆ เพื่อให้การใช้งานมีแบนด์วิดท์แคบ ๆ (narrow bandwidth) วงจรแบบใช้ 3 element จะสามารถช่วยแก้ปัญหาได้ดีขึ้น วงจรแบบใช้ 3 element นี้เรียกว่า วงจรแบบ π ในวงจรแบบนี้จะเปรียบเสมือนวงจรแอล (L) สองวงจรต่อชนกันทำให้แมทได้ทั้งด้าน input และ output

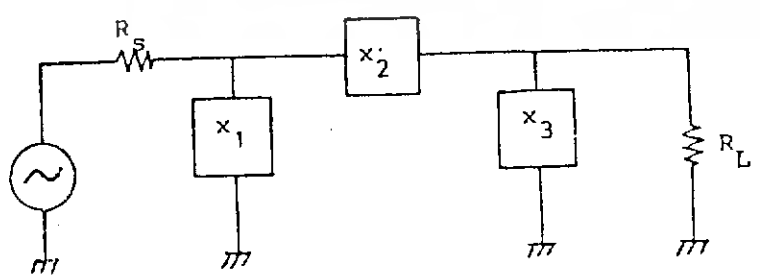
ในการออกแบบวงจร Matching แบบ π นี้สามารถคำนวณหาค่า Q ได้จาก

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

ค่าของ R_H = ค่า R_S หรือ R_L โดยดิดค่าของตัวที่มีค่ามากที่สุด

R = ค่าความต้านทานเสมือน (Virtual)

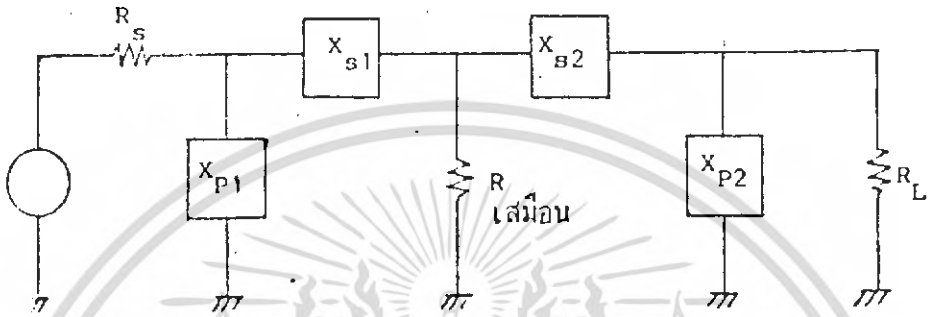
ถึงแม้ว่าค่าในการคำนวณจากสมการ Q^2 จะมีค่าผิดพลาดบ้างก็สามารถใช้เป็นแนวทางการคำนวณได้ โดยในทางปฏิบัติจะใช้ค่าประมาณนี้ พร้อมกับทำการปรับค่าให้ได้ตามต้องการรูปของวงจร ดูได้จากรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงวงจร Matching แบบพาย (PI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของความต้านทานเสมือน คือ ค่าความต้านทานที่สมมุติขึ้นมาว่าอยู่ระหว่างจุดต่อของวงจรแบบแอล ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงตำแหน่งของค่าความต้าน
เสมือนที่เกิดขึ้นระหว่างวงจรแอล

<u>ตัวอย่าง</u>

จงออกแบบวงจร Matching แบบ PI 4 แบบ ต่าง ๆ กัน เพื่อทำการแมทระหว่างความต้านทาน R_S เท่ากับ 100 Ω และ R_L เท่ากับ 1000 Ω โดยกำหนดให้ค่า Q เมื่อต่อโหลดแล้วมีค่าเท่ากับ 15

จากสมการที่ 2.8 หาค่าของความต้านทานเสมือนได้คือ

$$R = R_H / (Q^2+1)$$
$$= 1000 / (225+1)$$
$$= 4.42\ \Omega$$

หาค่า X_{P2} โดย

$$X_{P2} = R_P/Q_P$$
$$= R_L/Q$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 1000/15$

$= 66.7\ \Omega$

ในทำนองเดียวกันหาค่า X_{S2} ได้จาก

$$X_{s2} = Q.R_{VIRTUAL}$$

$= (15)(4.42)$

$= 66.3\ \Omega$

เมื่อได้ค่าวงจรรูปตัวแอลด้านโหลดเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการหาค่า Q_L ได้โดย

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

แทนค่า $Q_1 = \sqrt{(100/4.42) - 1}$

$= 4.6$

หาค่า X_{P1} ได้

$X_{P1} = R_P / Q1$

$= 100 / 4.6$

$= 21.7\ \Omega$

หาค่า X_{S1} โดย

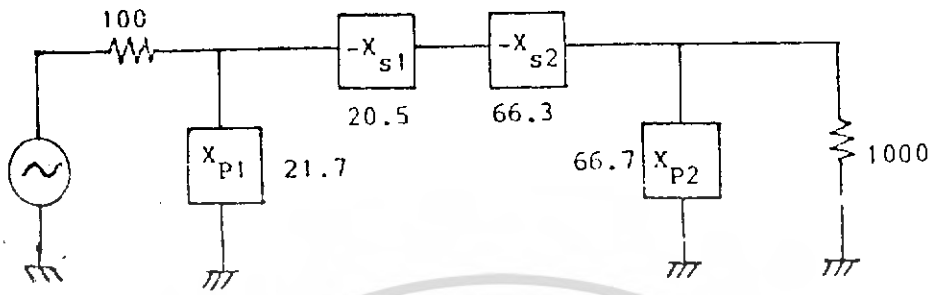
$X_{S1} = Q_1.R_{VIRTUAL}$

$= (4.6)(4.42)$

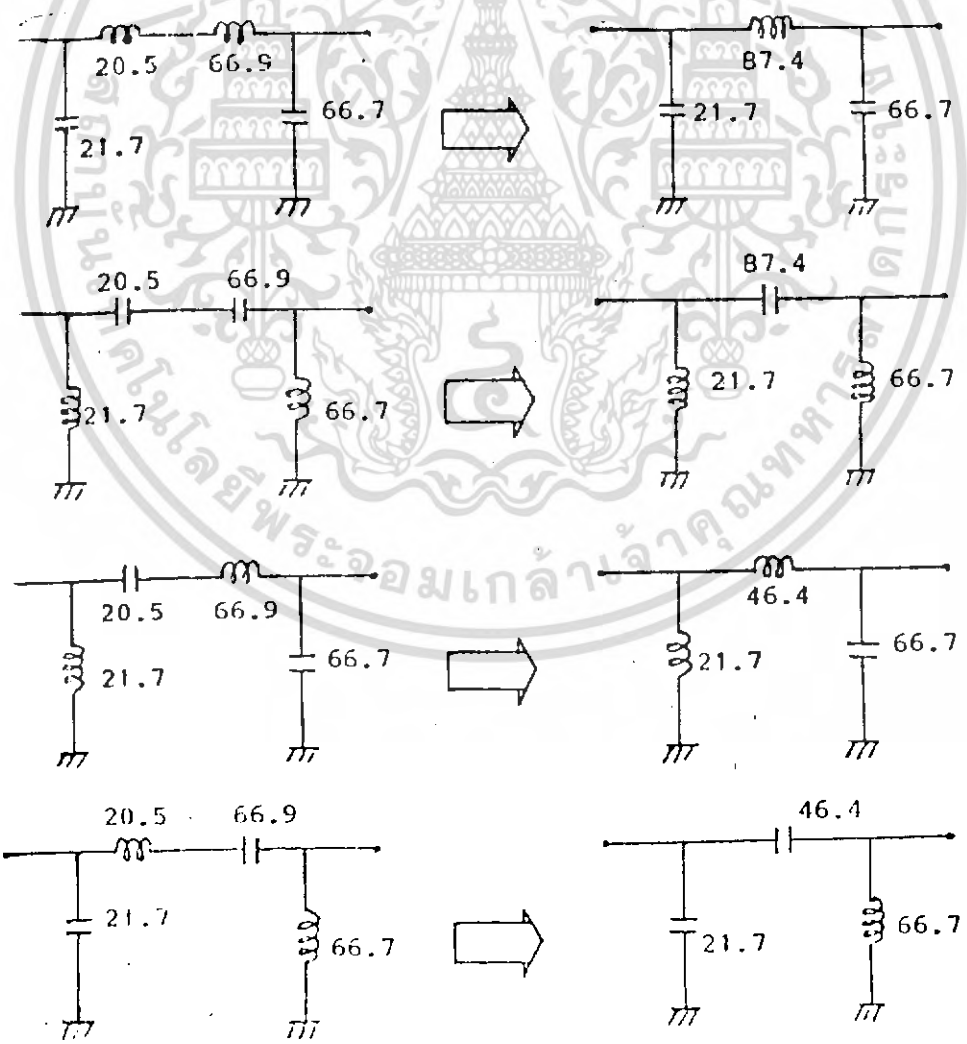
$= 20.5\ \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่าต่าง ๆ ในวงจรตามรูปที่ทำการหาค่าและแบบของ L และ C ได้



ค่า $-X_{S1}$ และ $-X_{S2}$ ไม่ใช่ว่าค่าจะเป็นลบ แต่จะใช้แสดงถึงค่าตรงข้ามของ X_{P1} และ X_{P2} เช่น ถ้า X_{P1} เป็น inductor X_{S1} ก็ต้องเป็น capacitor จากนั้นก็หาแบบของรูปวงจรได้ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการหาค่า inductor และ capacitor ในวงจรโดยใช้

$$X_L = 2\pi f_L$$

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

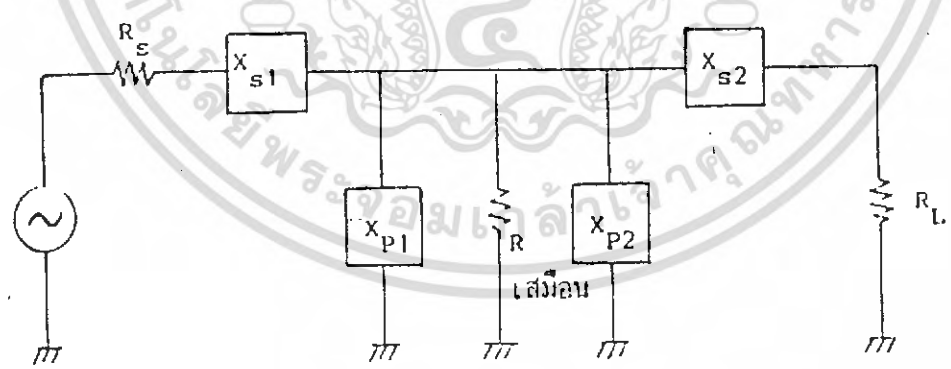
4.การใช้วงจร Matching inpedance แบบรูปตัวที(T)

การออกแบบวงจร Matching inpedance แบบรูปตัวที จะทำการคำนวณตามแบบวงจรรูปตัว Pi โดยการคำนวณการหาค่าวงจรรูปตัวแอล สองชุดที่หันหลังชนกันแล้วทำการลดรูปของวงจรจะเป็นรูปตัวที T ดังรูปที่ 2.9 วงจรรูปตัวทีนี้ ส่วนใหญ่จะใช้ในการ Matching ระหว่างความต้านทาน RS และ RL ที่มีค่าความต้านทานต่ำ ๆ และค่า Q ที่มีค่าปานกลางถึงสูง โดยค่า Q หาได้จาก

$$Q = \left(\frac{R}{R_{min}}\right)^{-1}$$

โดยที่ R = ค่าความต้านทานเสมือน

R_{min} = ค่าความต้านทาน R_S หรือ R_L โดยเอาค่าที่ต่ำที่สุดมา

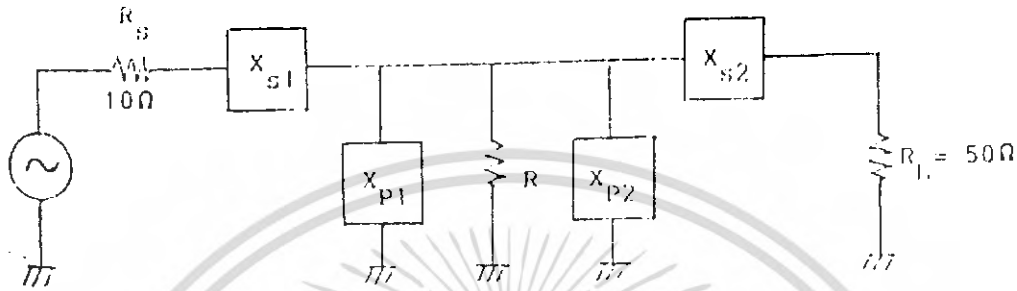


รูปที่ 2.9 แสดงวงจรรูปตัว T ที่ใช้กับ R_S และ R_L ที่มีค่า impedance ต่ำ ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตัวอย่าง</u>

จงออกแบบวงจรแมทชิ่งอิมพิแดนซ์รูปตัว T ตามรูปโดยให้ความต้านทาน R_S = 10 Ω ความต้านทานโหลด R_L= 50 Ω กำหนดให้ค่า Q เท่ากับ 10



จากสูตร $$Q_2 = \left(\frac{R}{R_{min}}\right)^{-1}$$

จะได้ $$R = R_{min}\ (Q^2+1)$$

แทนค่าจะได้

$$R = 10(100+1)$$

$$= 1010\ \Omega$$

ค่าความต้านทานเสมือนมีค่า = 1010 Ω

หาค่า X_{S1} จาก

$$X_{S1} = QR_S$$

$$= 10(10)$$

$$= 100\ \Omega$$

หาค่า X_{P1} จาก

$$X_{P1} = R/Q$$

$$= 1010/10$$

$$= 101\ \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า Q จากวงจรรูปตัวแอลด้านโหลดได้

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

แทนค่า

$$Q_2 = \sqrt{(1010/50) - 1}$$

$$= 4.4$$

หาค่า X_{P2} ได้

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

$$= 1010/4.4$$

$$= 231\ \Omega$$

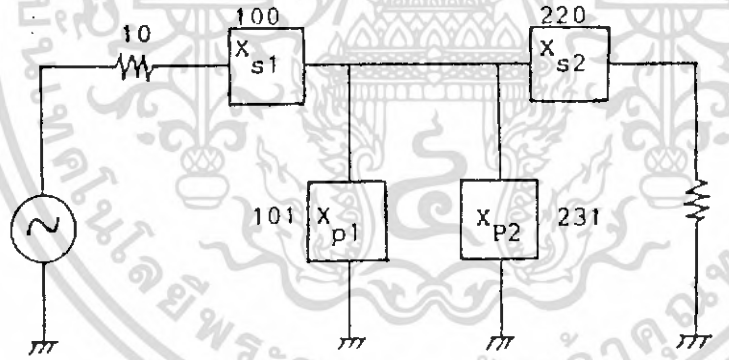
หาค่า X_{S2} ได้

$$X_{S2} = Q_2 R_L$$

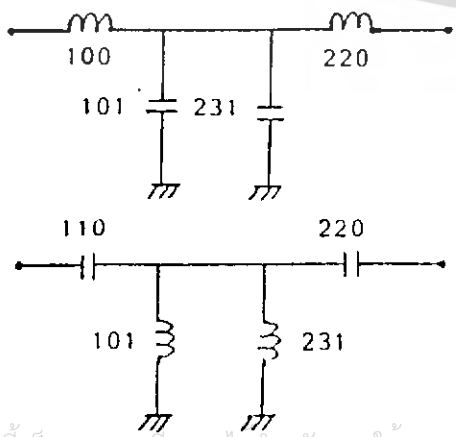
$$= (4.4)(50)$$

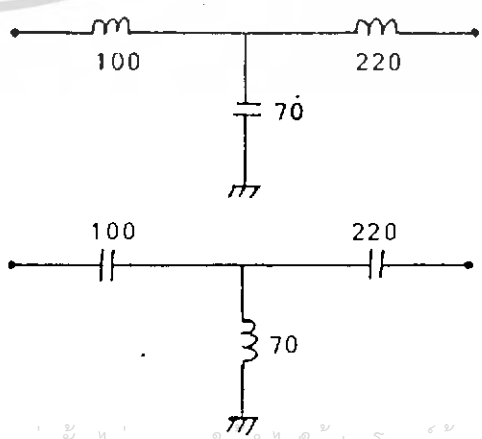
$$= 220\ \Omega$$

แทนค่าในวงจรได้

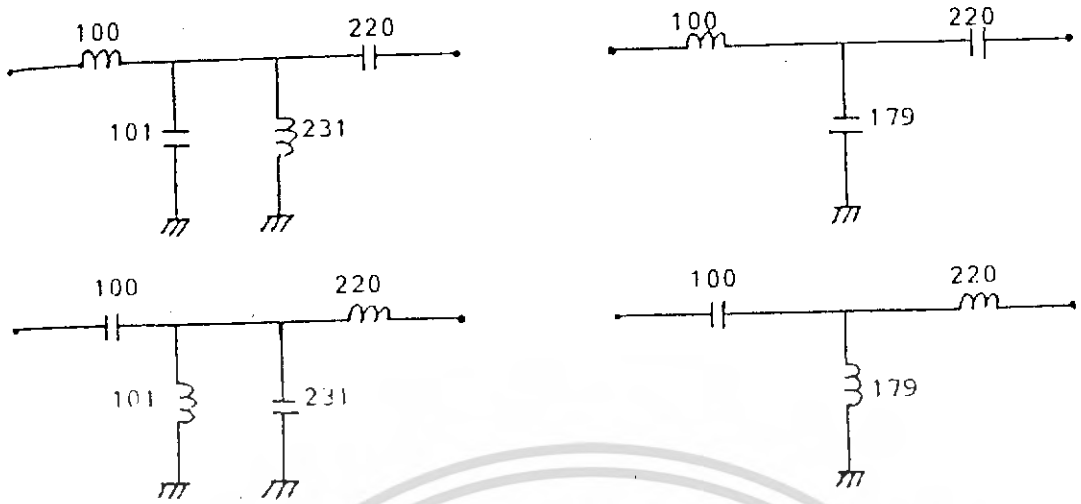


ทำการจัดได้ 4 รูปแบบ คือ



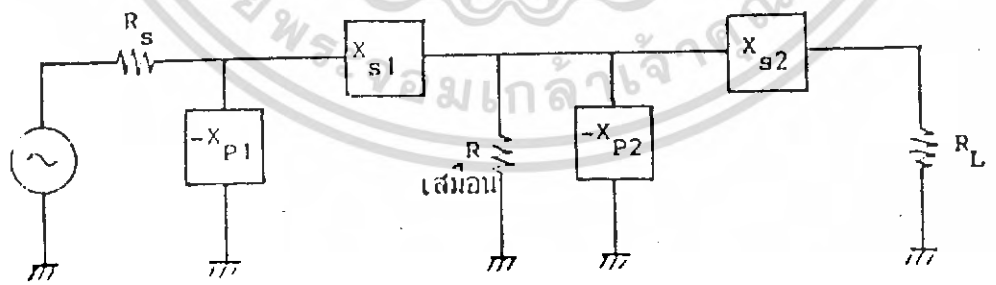


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



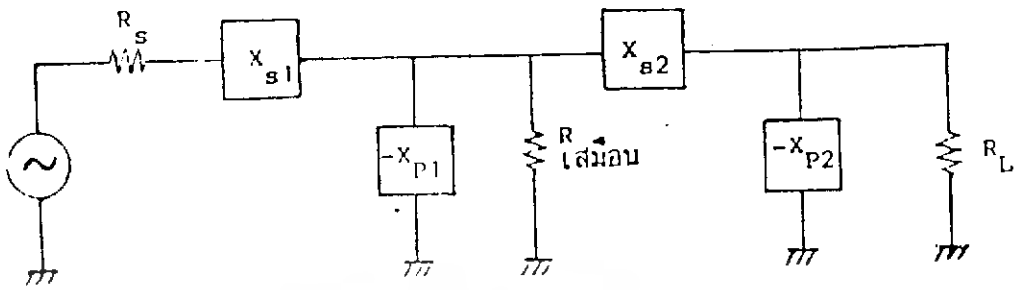
5. การออกแบบวงจง Matching แบบค่า Q ต่ำ ผลตอบสนองความถี่กว้าง

ในการออกแบบวงจรแมทชิ่งในหัวข้อที่แล้วเป็นการออกแบบค่า Q สูงทั้งค่า Q จะสูงโดยอัตโนมัติเมื่อใช้วงจรรูปตัวแอล และ ค่า Q จะมีความสัมพันธ์กับค่าความต้านทานของโหลดโดยตรงแม้ว่าในวงจรแมทชิ่งรูปตัว T และ Pi จะสามารถออกแบบวงจรให้ค่า Q ก็ยังมีค่าสูงอยู่ดี จึงทำให้ผลตอบสนองความถี่อยู่ในช่วงแคบ (narror band) ในบางครั้งมีความจำเป็นต้องการวงจรแมทชิ่งที่ให้ผลการตอบสนองความถี่กว้าง ในหัวข้อนี้จึงขอแสดงรูปของวงจรตามรูปที่ 2.10 ลักษณะวงจรเป็นรูปตัวแอลเรียงกัน



ก) แบบ R ต่อขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข) แบบ R ต่ออนุกรม

รูปที่ 2.10 แสดงวงจรแบบค่า Q ต่ำ Bandwidth กว้าง

การหาค่า R เสมือน หาได้จากสมการ

$$R = R_S R_L$$

ค่า Q หาได้จากสมการ

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

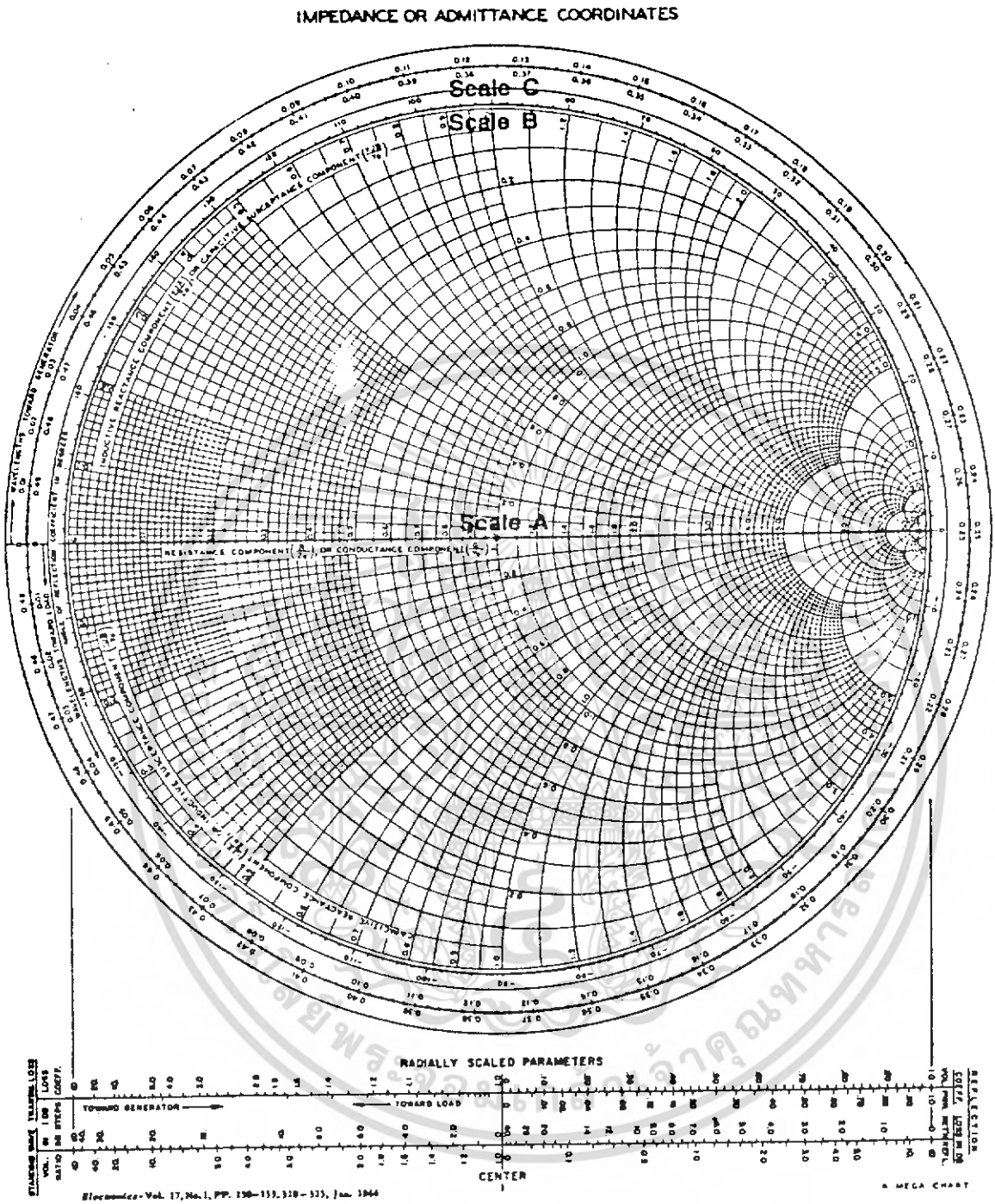
การใช้งาน Smith Chart

สมิทชาร์ท (Smith Chart) ใช้หาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายนำสัญญาณได้โดยรวดเร็ว สะดวก และใกล้เคียงมากกับวิธีการคำนวณจากสูตร ในการใช้งานจะเป็นลักษณะพล็อตค่าที่ทราบลงไปบางค่าก็จะทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์อื่นที่เราทราบได้ ในตอนต้นจะกล่าวถึงส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นมาเป็นสมิทชาร์ทเสียก่อน หลังจากนั้นจะได้แนะนำวิธีการใช้งานเป็นลำดับขั้นไปรวมทั้งการแนะนำสมิทชาร์ทไปใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ของระบบไมโครเวฟ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่

1. การพล็อตจุดโคออร์ดิเนตของโหลดบนชาร์ท (ไม่ว่าจะเป็นโหลดที่เป็นแบบคอมเพล็กซ์ และโหลดเฉพาะค่าจริงหรือค่าจินตภาพก็ตาม)
2. การหาค่า VSWR ของสายนำสัญญาณที่ต่อปลายด้วยโหลดแบบต่าง ๆ
3. การหาค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของสายนำสัญญาณ ซึ่งต่อปลายแบบเปิด แบบปิด และ ต่อด้วยปลายคอมเพล็กซ์โหลด
4. การหาระยะตำแหน่งจุดสูงสุดและต่ำสุดของคลื่นนิ่ง บนสายนำสัญญาณที่ต่อปลายแบบต่าง ๆ
5. การหาสตับจูนทั้งแบบเดี่ยว และคู่เพื่อใช้แมทชิ่งสายนำสัญญาณ

Smith Chart คือ ชาร์ทชนิดหนึ่งที่มีรูปร่างเป็นวงกลม แสดงให้เห็นในรูปที่ 3.1 โดยที่ข้างใต้ชาร์ทรูปวงกลมจะมีสเกลบอกพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีชื่อเรียกว่า เรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์ หมายถึงว่า สเกลพารามิเตอร์ถูกแบ่งตามค่าระยะรัศมีของชาร์ทวงกลม (Radially Scaled Parameter) ต่อไปนี้จะได้ทำการแจกแจงส่วนประกอบของ สมิทชาร์ทโดยเริ่มจากเส้นกลางแนวนอน หรือเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมวงนอกสุด ตามรูปที่ 3.1 ก็คือ สเกล A จะเป็น สเกลค่ารีซิสแตนซ์ หรือค่าคอนดักแตนซ์ เส้นโค้งที่เริ่มจากขอบของวงกลม Constant R วงนอกสุดเข้ามาบรรจบที่ปลายขวาสุดของเส้นกลางแนวนอนมีชื่อเรียกว่า เส้นโค้งแทนรีแอกแตนซ์คงที่ หรือ เส้นโค้งแทนซัสเซฟแตนซ์คงที่ โดยมีค่าสเกลของเส้นโค้งบนขอบรอบวงกลมที่ล้อมรอบวงกลม Constant R จะบอกค่าความยาวคลื่นที่เทียบค่าหรือทำการนอร์มอลไลซ์แล้ว โหลดเป็นแบบวนทวนเข็มนาฬิกา ส่วนทิศทางเข้าสู่เครื่องกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของสมิธชาร์ต

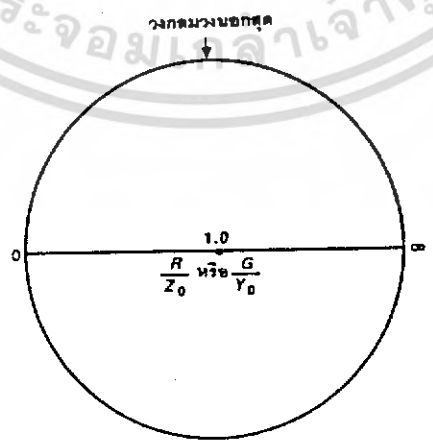
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือแหล่งจ่ายพลังงานมีทิศวนตามเข็มนาฬิกากำหนดให้หนึ่งรอบของวงกลม Smith Chart ใช้แทนครึ่งของความยาวคลื่นของสายนำสัญญาณค่าอินพุทที่ จะนำมาพล็อตไม่ว่าจะเป็นรีซิสแตนซ์ คอนดักแตนซ์ รีคอนดักแตนซ์ รีแอกแตนซ์ หรือ ซัสเซพแตนซ์

ต้องทำการเทียบค่ากับ คาแรคเตอร์ริสติกอิมพิแดนซ์ หรือคาแรคเตอร์ริสติกแอดมิตแตนซ์ ของสายนำสัญญาณเสียก่อน เพราะว่า Scale Aและ B บนสมิธชาร์ดเป็นค่าสเกลที่ทำการนอร์มอลไลซ์ไว้แล้วโดยสเกล A นอร์มอลไลซ์ กับค่าคาแรคเตอร์ริสติกอิมพีแดนซ์ Scale ก็ทำการนอร์มอลไลซ์กับค่าความยาวคลื่นโดยมีข้อจำกัดตรงที่ว่า สายนำสัญญาณนั้นจะต้องทราบค่า คาแรคเตอร์ริสติกอิมพีแดนซ์ นั้นแล้ว

เส้นกลางแนวนอนของสมิธชาร์ด

เส้นกลางแนวนอนที่พาดผ่านจุดศูนย์กลางของสมิธชาร์ดจะใช้แทนส่วนที่เป็นรีซิสแตนซ์หรือคอนดักแตนซ์ ดังรูป โดยเริ่มจากซ้ายสุดจะแสดงค่ารีซิสแตนซ์ หรือคอนดักแตนซ์เป็นศูนย์สเกลจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดขวาสุดของเส้นนี้จะแทนค่ารีซิสแตนซ์ หรือคอนดักแตนซ์อนันต์ สเกลตามแนวเส้นกลางนี้ จะไม่ขึ้นกับค่าคาแรคเตอร์ริสติกอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ เพราะได้ทำการนอร์มอลไลซ์ค่าอินพุทก่อนนำมาลงสเกลไว้แล้ว ค่ารีซิสแตนซ์จะทำการนอร์มอลไลซ์ โดยการหารด้วยค่าคาแรคเตอร์ริสติกอิมพีแดนซ์ของสายคือ Z เสียก่อน จึงนำไปพล๊อตบนสเกลแนวนอนหรือสเกล A ตามรูป ส่วนค่าคอนดักแตนซ์จะทำการนอร์มอลไลซ์โดยหารด้วยค่าคาแรคเตอร์ริสติกแอดมิตแตนซ์ของสาย คือ Y_0 จึงนำไปพล๊อตบนสเกลได้เช่นกัน



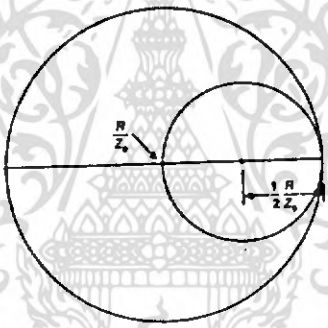
รูปที่ 3.2 เส้นแนวนอนแสดงรีซิสแตนซ์หรือคอนดักแตนซ์คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดศูนย์กลางของเส้นกลาง (เป็นจุดศูนย์กลางของชาร์ตด้วย) มีค่าเท่ากับหนึ่ง หมายความว่า มีค่า $R = Z_o$ หรือ $G = Y_o$ แสดงว่าถูกเทอร์มิเนตไว้ด้วยโหลดที่มีอิมพีแดนซ์เท่ากับคาแรกเตอร์ริสติกอิมพีแดนซ์ของสายเอง ซึ่งจะไม่มีการสะท้อนกลับของพลังงานเลย และควรทำความเข้าใจไว้ตรงนี้ว่า คาแรกเตอร์ริสติกแอดมิตแตนซ์ ของสายเท่ากับค่าส่วนกลับของคาแรกเตอร์ริสติกอิมพีแดนซ์ คือ $Z_o - 1/Y$

วงกลมแทนรีซิสแตนซ์และคอนดักแตนซ์คงที่

วงกลมแทนรีซิสแตนซ์คงที่ หรือ Constant R ทุกวงจะมีจุดสัมผัสรวมกันที่จุดขวาสุดของชาร์ต และทุกวงจะตัดกับเส้นกลางแนวนอน แสดงดังรูปที่ 3.3

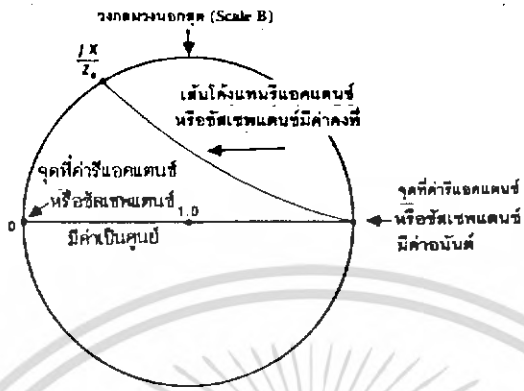


รูปที่ 3.3 แสดงวงกลม Constant R หรือ Constant G

การสร้างวงกลม Constant R หรือ Constant G บนสมิธชาร์ตนี้ เริ่มโดยนำค่ารีซิสแตนซ์ หรือคอนดักแตนซ์มาทำการหารด้วยคาแรคเตอร์ริสติกอิมพิแดนซ์ หรือแอดมิตแตนซ์(Z_oหรือY_o) ค่าที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้วนี้จะนำไปพล็อตเป็นสเกลของเส้นกลางแนวนอน หลังจากนั้นจึงทำการวาดวงกลม โดยรัศมีเป็นระยะจากจุดที่พล็อตไปยังขวาสุดของสเกล และจุดกึ่งกลางวงกลมจะอยู่ระหว่างจุดทั้งสองนี้ ซึ่งเป็นผลให้วงกลมที่ได้มีจุดสัมผัสขวาสุดของเส้นสเกล และมีชื่อเรียกว่า วงกลมแทนรีซิสแตนซ์ และคอนดักแตนซ์คงที่ (ทุกจุดบนวงกลมจะมีค่า R หรือ G เดียวกันตลอด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

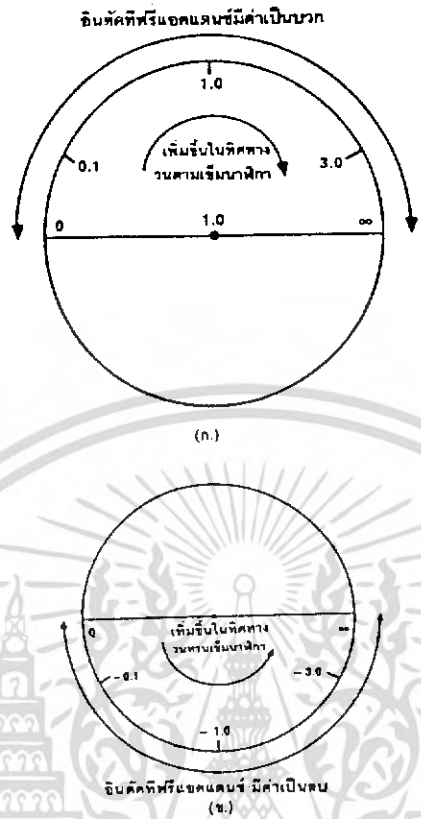
เส้นโค้งแทนรีแอคแตนซ์และซัสเซพแตนซ์คงที่



รูปที่ 3.4 แสดงเส้นโค้งแทนรีแอคแตนซ์คงที่

เส้นโค้งแทนรีแอคแตนซ์คงที่บนสมิธชาร์ตแสดงในรูปที่ 3.4 มีจุดเริ่มจากค่ารีแอคแตนซ์ที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้ว (โดยรีแอคแตนซ์หารด้วยคาแรคเตอร์ริสติกอิมพิแดนซ์และซัสเซพแตนซ์ หารด้วยคาแรคเตอร์ริสติกแอดมิตแตนซ์) พล็อตบนวงกลมนอกสุดของ Constant R (ได้เป็นสเกล B ในรูปที่ 3.1) ลากเส้นโค้งมาจบที่ปลายขวาสุดของเส้นกลางสำหรับเส้นแสดงรีแอคแตนซ์ และซัสเซพแตนซ์เป็นศูนย์นั้นจะกลายเป็นเส้นตรง คือเส้นกลางแนวนอนนั่นเอง ส่วนเส้นโค้งแทนรีแอคแตนซ์ หรือ ซัสเซพแตนซ์ เป็นอนันต์นั้นจะกลายเป็นจุดขวาสุดบนเส้นกลางแนวนอนค่ารีแอคแตนซ์ และ ซัสเซพแตนซ์ ที่ทำการนอร์มอลไลซ์นั้นจะนำมาพล็อตเป็นสเกลเทียบจากรูปที่ 3.1 ก็คือ สเกล B และวงกลมนอกสุด หรือวงกลมแทนรีซิสแตนซ์เป็นศูนย์ จะเป็นวงกลมที่มีเฉพาะค่ารีแอคแตนซ์เท่านั้น ถ้าพิจารณาจากจุดรีซิสแตนซ์เป็นศูนย์วนตามเข็มนาฬิกาไปตามเส้นรอบวงจนถึงขวาสุดของเส้นกลาง ซึ่งรีซิสแตนซ์เป็นอนันต์จะได้ว่ารีแอคแตนซ์ และมีค่าเป็นบวก และเพิ่มขึ้นจากศูนย์ถึงอนันต์ แสดงให้เห็นตามรูปที่ 3.5 ก และเมื่อวนทวนเข็มนาฬิกาจากจุดรีซิสแตนซ์เป็นศูนย์ จะพบว่ารีแอคแตนซ์มีค่าเป็นลบ และจากศูนย์ถึงอนันต์เช่นกัน แสดงไว้ดังรูปที่ 3.5 ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3. 5 ก แสดงสเกลรีแอคแตนซ์เป็นบวก

ข แสดงสเกลรีแอคแตนซ์เป็นลบ

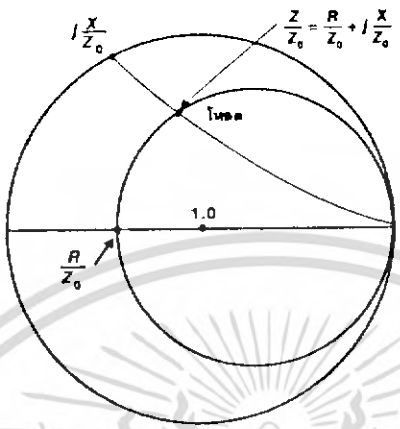
สเกลครึ่งวงกลมส่วนบนของสมิธชาร์ตจะแทนค่ารีแอคแตนซ์แบบตัวเหนี่ยวนำ + X_L / Z_O หรือค่าซัสเซพแตนซ์แบบตัวเก็บประจุ + jB / Y_O สเกลครึ่งวงกลมส่วนล่างจะแทนค่ารีแอคแตนซ์แบบตัวเก็บประจุ - jX_C / Z_O หรือค่าซัสเซพแตนซ์แบบตัวเหนี่ยวนำ - jB / Y_O

การพล๊อตอิมพิแดนซ์เชิงซ้อนบนสมิธชาร์ต

สามารถหาตำแหน่งของคอมเพล็กอิมพิแดนซ์ $Z = R \pm jX$ หรือคอมเพล็กแอดมิตแตนซ์ $Y = G \pm jB$ บนสมิธชาร์ตได้ โดยทำการNormalizeค่าจริงและค่าจินตภาพของ ComplexImpedance หรือแอดมิตแตนซ์ (แอดมิตแตนซ์นอร์มอลไลซ์ด้วย Y_O) พล๊อตค่าจริงที่ได้นอร์มอลไลซ์แล้วบนสเกลแนวนอนกึ่งกลางวงกลมสมิธชาร์ต จะได้วงกลมแทนค่ารีซิสแตนซ์คงที่นั้นด้วย (ทุกจุดบนวงกลมที่ได้นี้จะมีรีซิสแตนซ์ค่าเดียวกัน) ต่อจากนั้นทำการพล๊อตค่าจินตภาพที่นอร์มอลไลซ์แล้วบนสเกลบนวงกลมวงนอกจะได้เส้นโค้ง แทนค่ารีแอค

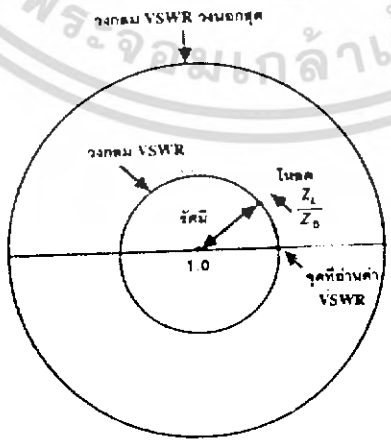
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แดนซ์คงที่ เมื่อได้วงกลมและเส้นโค้งดังกล่าว จะเกิดจุดตัดกันขึ้นแทนค่าคอมเพล็กอิมพิแดนซ์ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งคอมเพล็กอิมพิแดนซ์บนสมิธชาร์ต

การหาค่า VSWR เมื่อเราทราบค่าโหลดนี้เริ่มจากการนอร์มอลไลซ์ Z_L นำค่าที่ได้ไปพล็อตหาจุดโคออร์ดิเนตบนสมิธชาร์ต (เป็นการหาคอมเพล็กอิมพิแดนซ์ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่แล้ว) ทำการวาดวงกลมโดยใช้จุดศูนย์กลางเป็นจุดบนแกนแนวนอนที่มีค่าเท่ากับ 1.0 ซึ่งเรียกว่าจุดศูนย์กลางหลัก (prime center) และใช้ระยะระหว่างจุด 1.0 กับจุดโคออร์ดิเนตของนอร์มอลไลซ์โหลด Z_L / Z_O เป็นรัศมีจุดตัดระหว่างด้านขวามือของวงกลมกับแกนแนวนอนซึ่งบอกสเกลค่ารีซิสแตนซ์ที่ได้จะเป็นค่าของ VSWR แสดงให้เห็นเป็นในรูปที่ 3.7

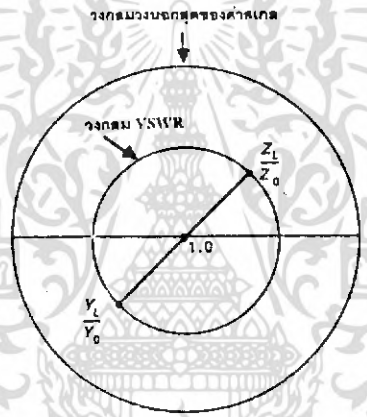


รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งของ VSWR ที่อ่านจากสมิธชาร์ต

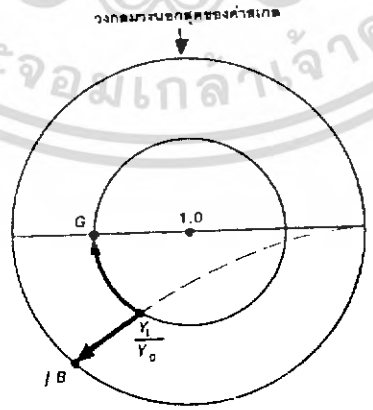
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหาค่าแอดมิตแตนซ์ Y_L เมื่อทราบค่าอิมพีแดนซ์ Z_L

การหาค่าแอดมิตแตนซ์ Y_L เมื่อทราบค่าอิมพีแดนซ์ Z_L เริ่มโดยการพล็อตนอร์มอลไลซ์ Z_L บนสมิธชาร์ต และวาดวงกลม VSWR ตามวิธีที่ได้อธิบายในหัวข้อก่อน หลังจากนั้นจึงทำการลากเส้นตรงจากจุดโคออร์ดิเนต Z_L / Z_O ผ่านจุด Priam Center หรือจุด 1.0 เลยไปตัดกับวงกลม VSWR ด้านตรงข้ามตามรูปที่ 3.8 จุดตัดระหว่างเส้นตรงดังกล่าวกับวงกลม VSWR เป็นจุดโคออร์ดิเนต แสดงตำแหน่ง Y_L / Y_O ค่าแอดมิตแตนซ์ได้มาจากจุดตัดกันของวงกลม Constant R และเส้นโค้ง Constant X ซึ่งอ่านค่าโคออร์ดิเนตจาก Scale A และ B (ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.1) ตามลำดับ จะได้ค่าคอนดักแตนซ์ และค่าซัสเซฟแตนซ์ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8



รูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหา Two-Element Matching

การออกแบบ Two-Element Matching จะเป็นวิธีที่ง่ายซึ่งตำแหน่งที่ได้จากการพล็อตจะต้องนำค่าที่ได้มาแทนในสมการ

สำหรับสมการอนุกรม ค่าที่ได้จากการพล็อต Smith Chart จะแทนด้วย X

Series L : $X = X_L / N = \omega L / N$

$L = XN / \omega$

Series C : $X = X_C / N = (1/\omega C) / N$

$C = 1 / X\omega N$

สำหรับสมการขนาน ค่าที่ได้จากการพล็อต Admittance Chart แทนด้วย B

Shunt L : $B = B_L / (1/N) = (1 / \omega L) / (1 / N)$

$L = N / B\omega$

Shunt C : $B = B_C / (1 / N) = \omega C / (1 / N)$

$C = B / \omega N$

$\omega = 2\pi f$

N = Normalized Impedance

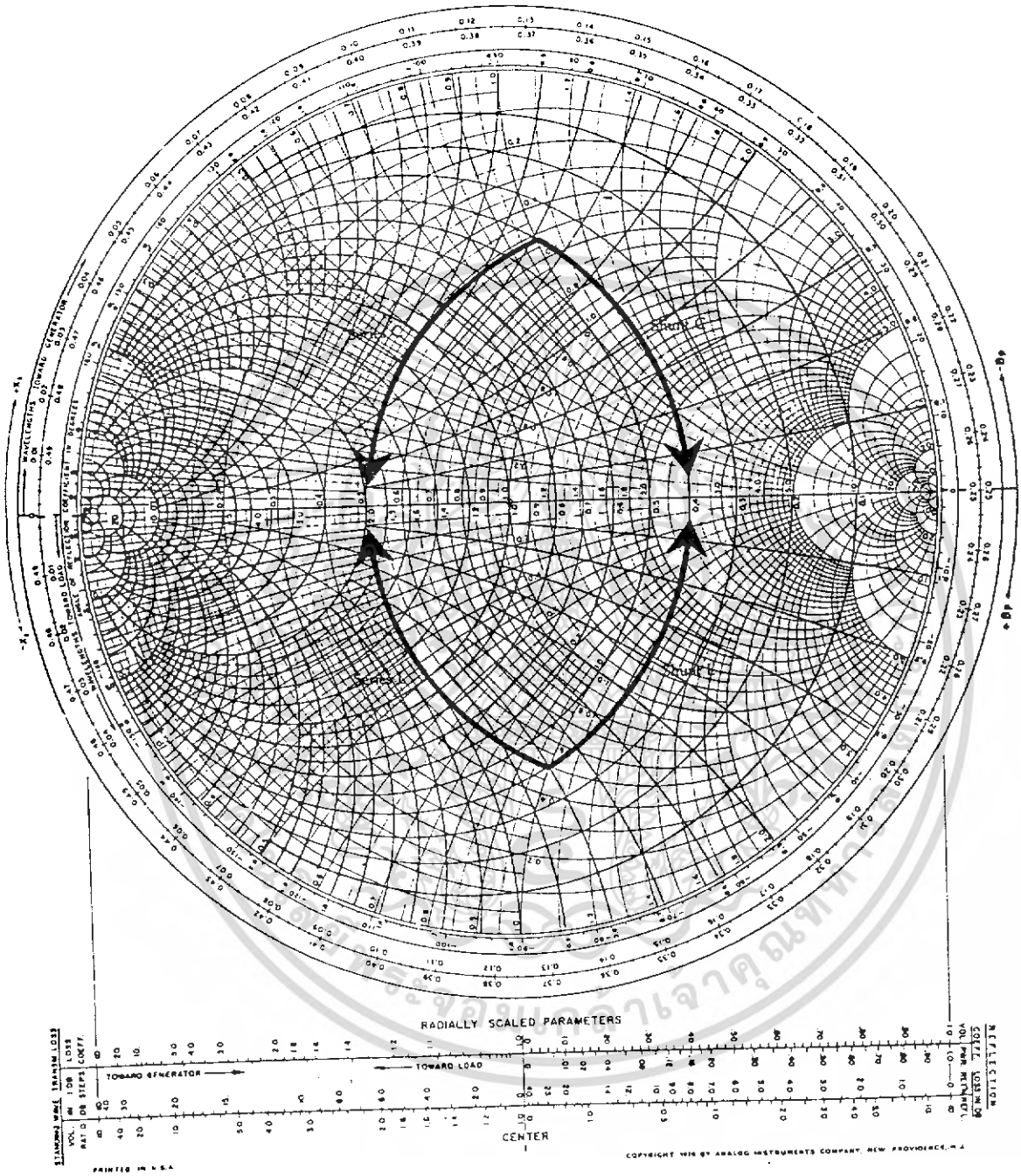
การหา Three-Element Matching

การออกแบบ Three-Element Matching จะมีความแตกต่างจาก Two-Element Matching โดย three-element สามารถที่จะกำหนดค่า Q ได้ตามต้องการ ซึ่งมีสมการดังนี้

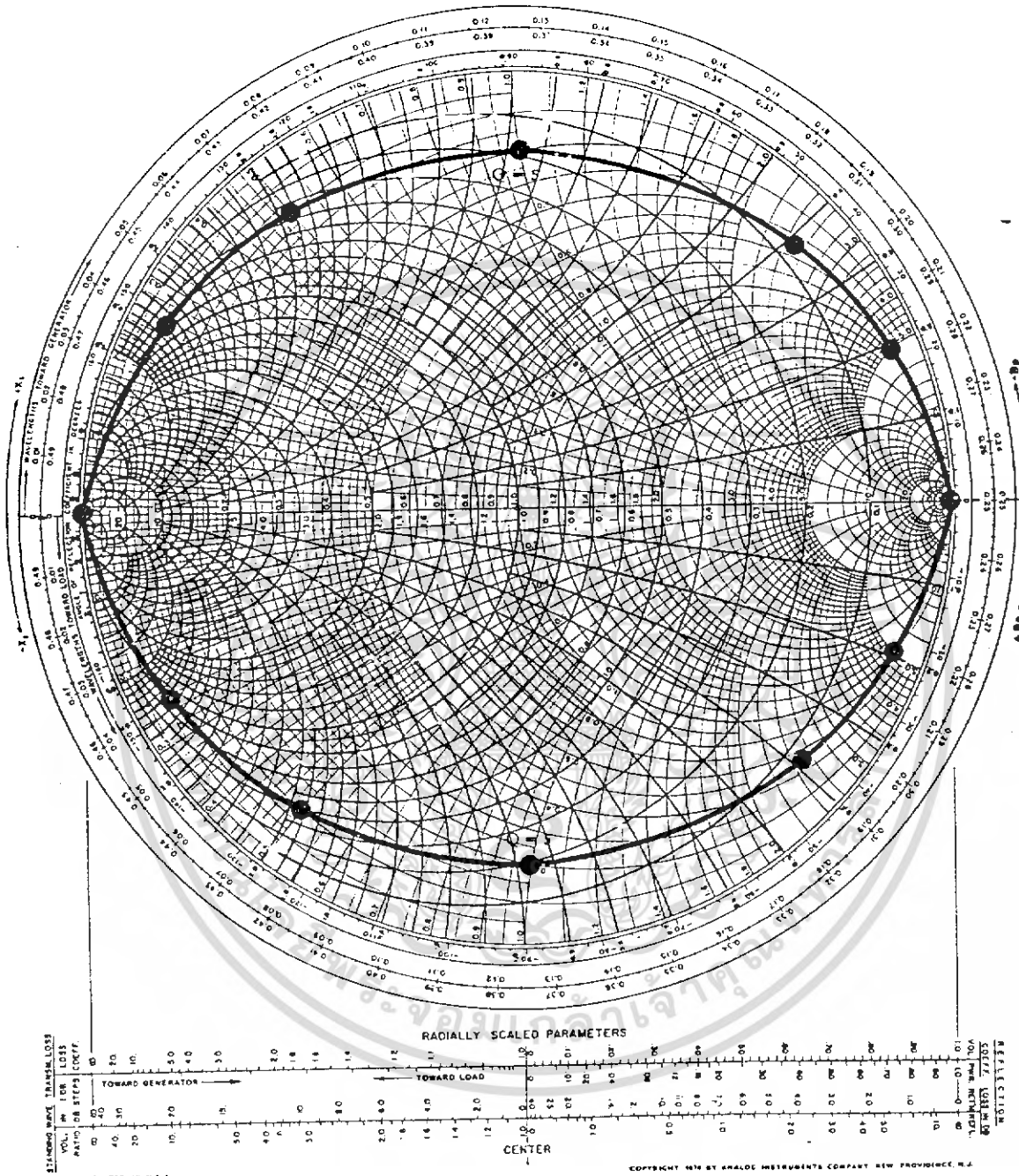
Series : $Q = XS / R$

Shunt : $Q = R / XP = (1 / G) / (1 / B) = B / G$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น ต้องการ Q = 5 ดังรูป

$R \pm jX = 1 \pm j5 \ , \ 0.2 \pm j \ , \ 0.5 \pm j2.5$

ขั้นตอนในการ plot curve Q ตามต้องการลงบน chart

1. plot curve Q ตามต้องการลงบน chart
2. plot curve Z_L และ Source Z_S ลงบน Chart
3. เลือกด้านของวงจรที่เป็นตัวกำหนด Q

   T- network เลือก Source (Rs) หรือ Load (R_L) ด้านที่มีค่า R น้อยกว่า

   Pi- network เลือก Source (Rs) หรือ Load (R_L) ด้านที่มีค่า R มากกว่า

4. สำหรับ T - network

$$R_S > R_L$$

ด้าน Load เป็นตัวกำหนด Q ให้เคลื่อนจาก Z_L ไปตามวงกลม R ที่ผ่านไป Z_L ไปตัด Curve Q (ที่จุด1) ระยะที่เคลื่อนไปจะใช้ในการหาค่า series element 1. จากนั้นเคลื่อนจากจุด 1 ไปยัง Z_S โดยผ่าน shunt element 2. และ series element 3.

$$R_S < R_L$$

ด้าน Source เป็นตัวกำหนด Q ให้หาจุดตัดของวงกลม R ที่ผ่าน Z_S กับ Curve (จุด1) แล้วเคลื่อนจาก Z_L ผ่าน series element 3.และ shunt element 2. ไปยังจุด 1 จากนั้นเคลื่อนจากจุด 1 ไปยัง Z_S ด้วย series element 1.

5. สำหรับ Pi - network

$$R_S > R_L$$

ด้าน Source เป็นตัวกำหนด Q ให้หาจุดตัดของวงกลม G ที่ผ่าน Z_S กับ Curve Q (จุด1) แล้วเคลื่อนจาก Z_L ไปยัง 1 ผ่าน shunt element 1.และ series element 2 แล้วเคลื่อนจากจุด 1 ไปยัง Z_S ด้วย shunt element 3.

$$R_S < R_L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้าน Load เป็นตัวกำหนด Q ให้เคลื่อนจาก Z_L ไปตามวงกลม Q ที่ผ่านไป Z_L ไปตัด Curve Q (ที่จุด1) ระยะที่เคลื่อนไปจะใช้ในการหาค่า shunt element 1. จากนั้นเคลื่อนจากจุด 1 ไปยัง Z_s โดยผ่าน series element 2. และ shunt element 3.

<u>ตัวอย่าง</u>

จงออกแบบ T-network เพื่อ match source $Z_s = 15 + j15\ \Omega$ กับ load $ZL = 225\ \Omega$ ที่ f = 30 MHz โดยให้วงจรมีค่า Q = 5

วิธีทำ เลือก Normalized $N = 75\ \Omega$

$ZL = 225/75 = 3$

$ZS = (15 - j15) / 75 = 0.2 - j0.2$

ด้าน Source เป็นตัวกำหนด Q

AB -- series L : jX = 2.5

BC -- shunt C : jB = 1.15

CD -- series L : jX = 0.8

$L3 = XN / \omega = (2.5 \times 75) / (2\pi \times 30 \times 10^6) = 995$ nH

$C2 = B / \omega N = 1.15 / (2\pi \times 75 \times 30 \times 10^6) = 81$ pF

$L1 = XN / \omega = (0.3 \times 75) / (2\pi \times 30 \times 10^6) = 318$ nH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impedance-Ohms:

45.128 +j29.685

0.6017 +j0.3958

L = 157.56 nH

SWR = 2.03

Q Factor = 0.66

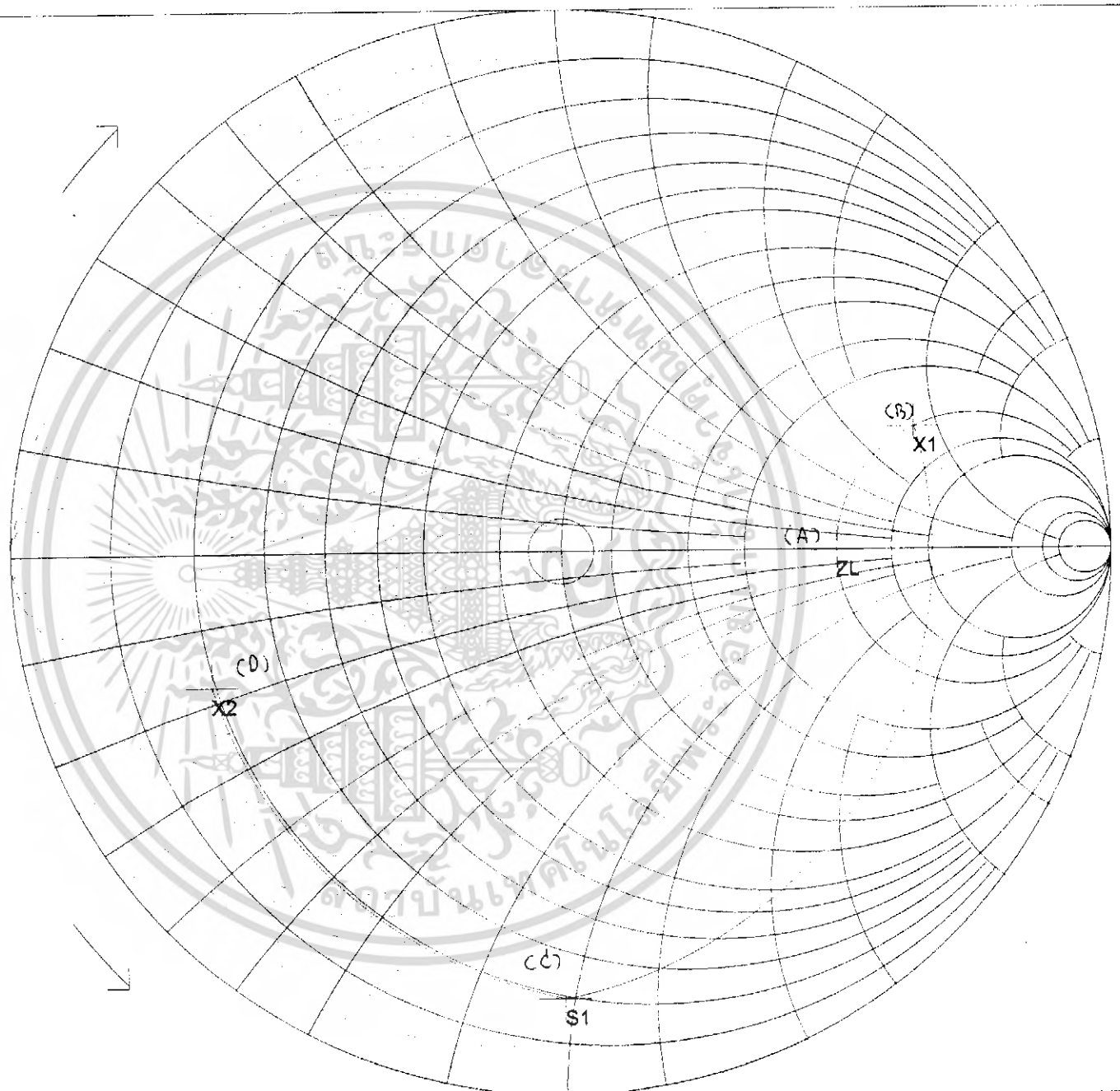
Ref. Coef. = 0.34

Angle = 121.29 Deg

Metres towards:

Generator = 0.8152

Load = 4.1847

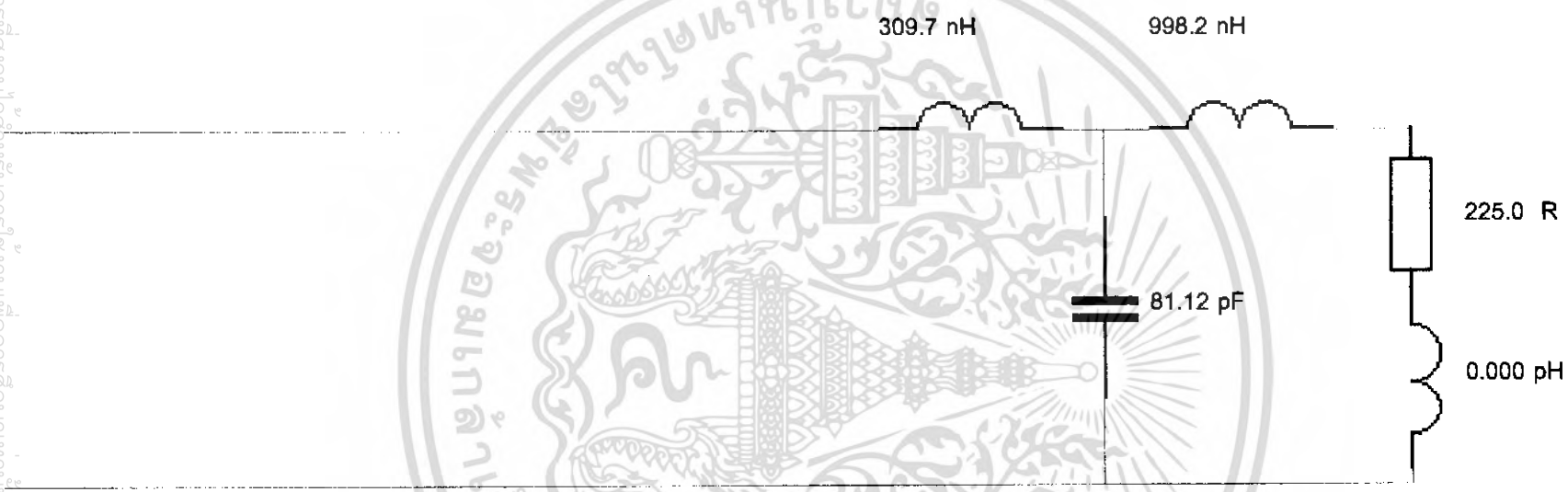


Zo 75 Ohm

Frequency 30.0 MHz

Dielectric Constant 1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Network Input Impedance 14.64 - j14.99 Ohms at 30.00 MHz

Input SWR 5.333 in 75.00 Ohm system

การออกแบบ Matching ของ RF Amplifier

DESIGN USING S Parameter

Scattering หรือ S Parameter เป็น Parameter ตัวสำคัญที่มักจะถูกกำหนดมากับ Transistor ที่ทำงานในย่านความถี่สูงเสมอเพื่อใช้ในการออกแบบวงจร S parameter ถูกใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากง่ายต่อการวัดค่าและใช้งานมากกว่า Y Parameter นอกจากนี้ S Parameter ยังง่ายกว่าในการทำความเข้าใจ

ในขณะที่ Y Parameter ใช้กระแสและ Voltage ทาง Input และ Output ในการกำหนดคุณลักษณ์ในการทำงานของวงจรโครงร่าง Network แบบ 2 ขั้ว แต่ S parameter กับใช้ค่า Normalized ของคลื่นตกกระทบ (Incident) และคลื่นสะท้อนกลับ (Reflected)

เพื่อที่จะทำความเข้าใจหลักการของ S parameter จำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจทฤษฎีของสายส่งบางประการ

พิจารณาตามรูปที่ 4.1 Voltage กระแสและกำลังงานจะถูกส่งผ่านจาก Source Impedance (Z_g) ไป Load (Z_L) ซึ่งจะถูกพิจารณาในรูปของคลื่นตกกระทบ และคลื่นสะท้อน กับที่เคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามภายในสายส่งที่มี Characterstic Impedance (Z_O) ถ้าหาก Load Impedance (Z_L) เท่ากับ Z_o ภายในสายส่งจะไม่มีคลื่นสะท้อนกลับทั้งนี้ เพราะคลื่นตกกระทบทั้งหมดจะถูกดูดซึมด้วย Load หมด แต่ถ้า Z_L ไม่เท่ากับ Z_o แล้วคลื่นตกกระทบจะไม่ถูก Load ดูดซึมทั้งหมด ดังนั้นบางส่วนของคลื่นตกกระทบจะย้อนกลับมาต้นกำเนิด (Source) ใหม่เกิดเป็นคลื่นสะท้อนกลับของคลื่นระหว่าง Load และ Source จนกว่าคลื่นจะ Loss จางหายไปในสายส่งความมากน้อยของความ Mismatch ระหว่าง Z_o และ Z_L หรือ Z_s ขึ้นอยู่กับจำนวนคลื่นสะท้อนกลับของคลื่นตกกระทบ อัตราส่วนระหว่างคลื่นสะท้อนกลับและคลื่นตกกระทบ เรียกว่า Reflection Coefficient ซึ่งเป็นค่าที่จัดวางเท่ากันได้ (Match) ของสายส่งและ Terminating Impedance Reflection Coefficient (T) อยู่ในรูป Complex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T = Reflection Coefficient

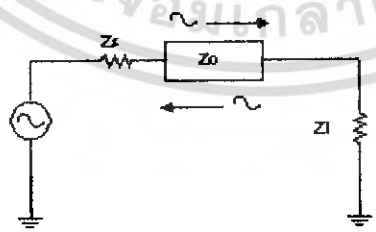
= V_{REF}/V_{INC}

= ρ / θ (4.1)

V_{REF} = Reflected Voltage

V_{inc} = Incident Voltage

Reflection Coefficient จะมีค่าลดลงค่าความแตกต่างระหว่าง Terminating Impedances และ Impedances ของสายส่งมีค่าลดลงถ้า Terminating Impedances และ Impedance ของสายส่งเท่ากับ Reflection Coeficienct เท่ากับ O ถ้าหากปลายทางของ Load เกิดไม่ได้ต่อ Load แล้วทำให้เกิดกรณี Short หรือ Open Circuit ก็ดี กำลังไฟฟ้าจะส่งจากแหล่งกำเนิดจะไม่ถูกดูดซึมโดยโหลดเลย ดังนั้น คลื่นตกกระทบทั้งหมดจะสะท้อนกลับหมด ค่า Reflection Coefficient เท่ากับหนึ่ง เกิดกรณีเข้ากันไม่ได้อย่างสมบูรณ์ (Perfect Mismatch) ค่า Reflection Coefficiewnt จะแปรผันระหว่าง 0 และ 1 Reflection Coefficient ที่มีค่ามากว่า 1 นั้นแสดงว่าสัญญาณจากแหล่งกำเนิดไปถึงโหลดมีค่าน้อยกว่าสัญญาณที่ออกจากโหลด เพื่อมาแหล่งกำเนิดไปถึงโหลดมีค่าน้อยกว่าสัญญาณที่ออกจากโหลด เพื่อมาแหล่งกำเนิด นั่นแสดงว่า โหลดของเขามีแหล่งต้นกำเนิดพลังงานอยู่ด้วย ซึ่งเป็นไปได้ในกรณี Oscillator และ Amplifier ที่เกิดการ Oscillator



รูปที่ 4.1 แสดงคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนกลับในสายส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Reflection Coefficient ของวงจรดังรูปที่ 4.2 แสดงได้ดังสมการ 4.2 หรือ 4.3

$$T = \frac{Z_L - Z_O}{Z_L + O} \qquad (4.2)$$

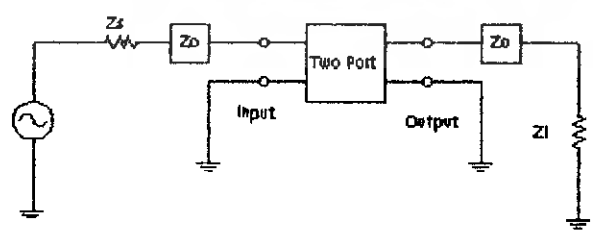
$$= \frac{\frac{Z_L}{Z_O} - 1}{\frac{Z_L}{Z_O} + 1}$$

$$= \frac{Z_A - 1}{Z_A + 1} \qquad (4.3)$$

Z_A = Normalfzed Load Impedance

สมการ 4.3 เป็นสมการในการสร้าง Smith Chart ดังนั้น ค่า T จึงสามารถเขียนค่าลงใน Smith Chart ได้โดยตรงเลยและทำให้สามารถอ่านค่าโหลดอิมพีแดนซ์จาก Chart ได้โดยตรงเลย โดยไม่ต้องคำนวณค่าจากสมการ 4.2 ในทำนองเดียวกับค่า T สามารถอ่านจาก Chart โดยตรง เมื่อกำหนดค่า Zo (การคำนวณค่า T และการใช้ Smith Chart ในการคำนวณจะไม่กล่าวรายละเอียดในที่นี้) S Parameter ในวงจรโครงข่าย Network 2 คู่สาย

จากวงจรรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาในรูปวงจรโครงข่าย Network 2 คู่สายจะเป็นไปดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 พิจารณาคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนในวงจรโครงข่าย Network 2 คู่สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาต่อไปนี้คลื่นตกกระทบ คือ คลื่นที่เคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิด

1) คลื่นตกกระทบที่เคลื่อนออกจากแหล่งกำเนิดจะตกกระทบบนอุปกรณ์ในวงจร 2 คู่สายเป็นค่า a_1 โดยมีบางส่วนที่สะท้อนกลับเป็นค่า b_1 และมีบางส่วนเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ของวงจร 2 คู่สาย
2) คลื่นที่เคลื่อนผ่านเข้าไปในอุปกรณ์ของวงจร 2 คู่สายจะเคลื่อนที่ไปจนถึงโหลดที่ต่อยู่ ทางเอาท์พุทของวงจร 2 คู่สาย และบางส่วนของคลื่นนี้จะสะท้อนที่โหลดกลับไปเป็นคลื่นตกกระทบวงจร 2 คู่สายทางด้านเอาท์พุทเป็นค่า a_2
3) คลื่นตกกระทบทางด้านเอาท์พุทของวงจร 2 คู่สาย บางส่วนจะสะท้อนกลับไปที่โหลดอีกเป็นค่า (b_2) ในขณะที่มีบางส่วนเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในวงจร 2 คู่สายไปที่แหล่งกำเนิด

จากบทสรุปทั้ง 3 ข้อข้างต้นจะพบว่าคลื่นที่เคลื่อนที่ในวงจรรูปที่ 4.2 จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ

1) คลื่นที่เคลื่อนที่ออกจากขั้วเอาท์พุทของวงจร 2 คู่สาย ประกอบด้วยบางส่วนของคลื่น a_2
ซึ่งสะท้อนกลับที่ขั้วเอาท์พุทของวงจร 2 คู่สายบวกกัน บางส่วนของคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในวงจร 2 คู่สาย

2) คลื่นที่เคลื่อนที่ออกจากขั้วอินพุทของวงจร 2 คู่สาย ประกอบด้วยบางส่วนของคลื่น a_1
ซึ่งสะท้อนกลับที่ขั้วอินพุทของวงจร 2 คู่สายบวกกับบางส่วนของคลื่น a_2 ที่เคลื่อนผ่านเข้าไปในวงจร 2 คู่สาย

จากบทสรุปของคลื่นที่เคลื่อนที่ออกจากอินพุทและเอาท์พุทของวงจร 2 คู่สายนี้ สามารถเขียนค่า b_1 , b_2 ในรูป a_1 , a_2 ดังสมการ 4.4 และ 4.5

$$b_1 = S_{11}\, a_1 + S_{12}\, a_2 \qquad (4.4)$$

$$b_2 = S_{21}\, a_1 + S_{22}\, a_2 \qquad (4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S_{11} = The input Reflection coefficient

S_{12} = The reverse Transmission Coefficient

S_{21} = The Forward Transmission Coefficient

S_{22} = The Output Reflection Coefficient

จากสมการ 4.4 ถ้า $a_2 = 0$

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1}\Bigg|_{a_2 = 0} \qquad (4.6)$$

S_{11} = ผลหารระหว่างคลื่นสะท้อนกลับและคลื่นตกกระทบดังนั้นถ้าพิจารณาตามคำจำกัดความ ก็คือค่า Reflection Coefficient ที่อินพุท S สามารถเขียนลงบน Smith Chart และสามารถอ่านค่าอินพุทพิมพีแดนซ์ Chart โดยตรง

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2}\Bigg|_{a_1 = 0} \qquad (4.7)$$

S_{22} = Reflection Coefficient ที่เอาท์พุท ซึ่งเมื่อวาดลงบน Smith Chart ก็จะสามารถอ่านค่าเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ออกมาจาก Chart โดยตรง

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1}\Bigg|_{a_2 = 0} \qquad (4.8)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2}\Bigg|_{a_1 = 0} \qquad (4.9)$$

จากสมการ 4.6 ถึง 4.9 พบว่าค่า S Parameter หาได้เมื่อ a_1 หรือ a_2 เท่ากับศูนย์ นั่นคือ หากเราใช้ค่า Z_S และ Z_L เท่ากับ Charateristic Impedance ของระบบที่ต้องการจัดแล้ว คลื่นที่ตกกระทบ Z_S และ Z_L จะไม่ทำให้ปรากฏคลื่นสะท้อนกลับเข้าสู่วงจร 2 คู่สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังจะเห็นได้จากการหาค่า S11 ค่าที่จำเป็นต้องใช้ คือ สัญญาณอินพุทที่เข้าสู่วงจร 2 คู่สาย และสายสัญญาณสะท้อนกลับ ซึ่งเกิดจากสัญญาณอินพุทจากแหล่งกำเนิดโดยตรงเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติจะมีคลื่นที่เกิดจากสัญญาณ a บางส่วนที่เคลื่อนที่ผ่านเข้ามาในวงจร 2 คู่สาย และมารวมกับสัญญาณสะท้อนกลับ ซึ่งเกิดจากสัญญาณจากแหล่งกำเนิดโดยตรง ดังนั้น จะได้ค่า b ที่ไม่ถูกต้อง ถ้าเราใช้ Z_L ที่เท่ากับ Z_S แล้วจะไม่เกิด a ขึ้น สัญญาณสะท้อนกลับที่อินพุทจะจัดได้อย่างถูกต้องหาค่า S_{22} ก็เช่นกัน

ค่า S_{22} และ S_{12} ที่ปรากฏในสมการ 4.8 และ 4.9 คือค่า Forward และ Reverse Gain ตามลำดับ

Transistor ที่ทำงานในความถี่ RF มีการกำหนดคุณลักษณะโดยการใช้ S Parameter ด้วยค่า S Parameter นี้เราสามารถหาความไม่เสถียรภาพของระบบ (Potential Instability) ค่า Gain ค่าสูงสุด (Maximum Available Gain) อินพุท และเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ รวมทั้ง Transducer Gain นอกจากนี้ ยังใช้ประโยชน์ในการคำนวณค่า Source และ Load Impedance ที่เหมาะสมที่สุด เมื่อการทำ Conjugate Matching หรือ การเลือก Source และ Load Impedance สำหรับ Transducer Gain S Parameter เป็น ค่าที่แปรตามความถี่และระดับไบอัส ดังนั้น ในการออกแบบจะต้องเลือก Transistor แล้วจึงเลือกจุดทำงานเสถียรภาพที่ต้องการ จากนั้นจึงกำหนดค่า S Parameter ณ ที่จุดทำงาน (จาก Data Steet) จากนั้น จึงคำนวณค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

Stability

เราสามารถใช้ค่า S Parameter ในการคำนวณความเสถียรภาพของ Transistor ในการใช้งานที่ความถี่ใด ๆ เพื่อตรวจสอบดูสภาวะความเป็นไปได้ที่ Transistor จะเกิดการ Oscillate อันเป็นสภาวะที่ควรหลีกเลี่ยงอย่างยิ่งในการออกแบบ Amplifier

<u>ขั้นแรก</u> คำนวณค่า Intermediate Quantity Ds

$$D_S = S_{11} S_{22} - S_{12} S_{21} \qquad (4.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นสอง คำนวณค่า Rollett Stability Factor (K)

$$K = \frac{1 + |D_S|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2\,|S_{21}||S_{12}|} \qquad (4.11)$$

ถ้าค่า K มากกว่า 1 อุปกรณ์จะอยู่ในสภาวะ Unconditionally Stable สำหรับ Source และ Load Impedance ใด ๆ ถ้า K มีค่าน้อยกว่า 1 อุปกรณ์อยู่ในสภาวะ Potentially Unstable จะเกิดการ Oscillate อยู่เสมอในการเลือก Load Impedance และ Source Impedance แต่ก็มิใช่ว่าเราจะไม่สามารถใช้ Transistor นั้นเพียงแต่ต้องมีการใช้อย่างระมัดระวัง และยากต่อการใช้เท่านั้น ในกรณี K น้อยกว่า 1 ยังคงสามารถใช้งานได้โดย

1) เปลี่ยนจุดไปอัสทรานซิสเตอร์ใหม่
2) เลือกทรานซิสเตอร์ใหม่
3) ใช้วิธี Stability Circuits

Maximum Available Gain

เป็นค่า Gain สูงสุดที่ทรานซิสเตอร์สามารถทำได้ในสภาวะ Matched เรียกว่า Maximum Available Gain (MAG) ตอนแรกคำนวณค่า B1 ก่อน

$$B_1 = 1 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 - |D_S|^2 \qquad (4.12)$$

โดยที่ค่า D_S หาได้จากสมการ 4.10

$$MAG = \frac{10 \log |S_{21}| + 10 \log |K \pm \sqrt{K^2 - 1}|}{S_{12}} \qquad (4.13)$$

โดยที่ MAG อยู่ในหน่วย dB

K เป็น Stability Factor ที่คำนวณตามสมการ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหตุที่จะต้องมีการคำนวณ B_1 ก่อนการคำนวณค่า MAG เพราะค่า B_1 เป็นตัวกำหนดเครื่องหมาย (±) ในสมการ 4.13 ถ้า B_1 มีค่าเป็นลบจะใช้เครื่องหมายบอกในสมการ 4.13

ถ้า B_1 มีค่าเป็นบวกจะใช้เครื่องหมายลบในสมการ 4.13 และยังพบอีกว่า K จะต้องมีค่ามากกว่า 1 MAG จึงมีค่าได้หากน้อยกว่าหนึ่ง ค่า $K^2 - 1$ ในเครื่องหมายรากที่สองจะมีค่าลบ ซึ่งทำให้ MAG ไม่มีค่าไป

การทำ Conjugate Match (ในกรณีที่ทรานซิสเตอร์อยู่ในสภาวะ Unoconditionally Stable) เมื่อทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพในความถี่ที่เลือกใช้งาน (K>1) ค่า Gain ก็สามารถหาค่าได้แล้วขั้นตอนต่อไปต้องทำให้วงจรอยู่ในสภาพ Match ให้ได้และสิ่งที่ต้องทำ คือ การคำนวณหาค่า Load และ Source

Reflection Coefficient ซึ่งจะเป็นตัวช่องกำหนดค่า Conjugate Match ของอินพุทและเอาท์พุท อิมพีแดนซ์ของระบบขึ้นอยู่กับโหลด และ Source อิมพีแดนซ์ที่ทรานซิสเตอร์มองเห็นด้วยทั้งนี้เพราะค่า Reverse Gain (S_{12}) ของทรานซิสเตอร์นั่นเองถ้า $S_{12} = 0$ แล้วค่าโหลด และ Source อิมพีแดนซ์ของทรานซิสเตอร์

ในการหา Reflecient สำหรับ Conjugate Match ทำตามขั้นตอนดังนี้

$$C_2 = S_{22} - (D_S S_{11}^*) \qquad (4.14)$$

S*11 เป็นค่า Complex Conjugate ของ S11

$$B_2 = 1 + |S_{22}|^2 - |S_{11}|^2 - |D_s|^2 \qquad (4.15)$$

ขนาดของ Reflection Coefficient จะเป็นไปตามสมการ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$/T_L/ = B_2 \pm \sqrt{B_2^{\,2} - 4(C_2)_2 / 2 / C_2} \qquad (4.16)$$

สมการ 4.16 จะใช้เครื่องหมายบวก หรือ ลบขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ B_2 ส่วนมุมของ T_L จะมีมุมเป็นมุมลบของ C_2

ในสมการ 4.16 เมื่อได้ค่า T_L แล้วใช้ Smith Chart ในการคำนวณ Conjugate Matching หรือใช้วิธีการคำนวณ Impedance Matching แบบแทนค่าสูตรก็ได้ ค่าที่ได้จะเป็น Conjugate Matching ทางอินพุท ค่าของ Source Reflection Coefficient จะเป็นไปตามสมการ 4.17

$$T_S = S_{11} / + S_{12}\, S_{21}\, T_L / + (T_L + S_{22}) - 1 \qquad (4.17)$$

การคำนวณ Conjugate Matching ทางด้านเอาท์พุทก็เช่นเดียวกับของอินพุท สำหรับเมื่อ $K < 1$ ก็ยังคงหาค่า T_L และ T_S เพื่อทำการ Conjugate Matching

SmallSignal RF Amplifier

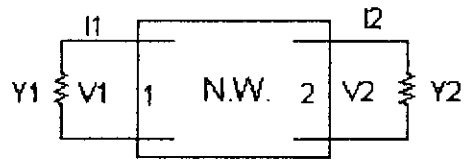
Design Using Y Parameters

ในย่านความถี่สูงอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ หรือเฟ็ท มักจะบอกรายละเอียดต่าง ๆ ในรูปของแอดมิตแทนซ์พารามิเตอร์ หรือ Scattering พารามิเตอร์ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะถึงการออกแบบ วงจรขยายสัญญาณ จากแอดมิตแทนซ์พารามิตแทนซ์พารามิเตอร์เท่านั้นจากรูปที่ 4.8 สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$I_1 = V_1 Y_1 + V_2 Y_L = -V_1 Y_S \qquad (4.18)$$

$$I_2 = V_1 Y_f + V_2 Y_0 = -V_2 Y_L \qquad (4.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 วงจร Two-Port Network

โดยที่ Y_1, Y_r, Y_f, Y_o เป็นค่า Short-Circuit แอดมิตแทนซ์พารามิเตอร์ของอุปกรณ์ และ Y_s, Y_L เป็นค่าแอดมิตแทนซ์ของซอร์สและโหลดตามลำดับ

จากสมการ 4.19 สามารถหาค่าโวลท์เตจเกน (Voltage Gain) ได้ดังนี้

$$A_v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{-Y_f}{Y_0 + Y_L} \qquad (4.20)$$

และจากสมการทั้งหมดข้างต้นสามารถหาเคอร์เรนท์เกน (Current Gain) ได้ดังนี้

$$A_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{Y_f Y_L}{\Delta Y + Y_1 Y_L} \qquad (4.21)$$

ซึ่งค่า ΔY เป็นค่าดิเทอร์มิแนนท์ของ Y ดังนี้

เพื่อที่จะหาค่าอินพุทแอดมิตแทนซ์ (Input Admittance) Y_I ของเน็ทเวอร์คที่พอร์ท 1

เมื่อหาสมการ 4.18 ด้วย Y_1 แล้ว แทนค่าสมการ 4.20 เข้าไปจะได้

$$Y_I = \frac{I_1}{V_1} = Y_1 \quad \frac{-Y_r Y_f}{Y_0 + Y_1} \qquad (4.22)$$

ค่าแอดมิตแทนซ์ ซึ่งมองกลับเข้ามาจากทางเอาท์พุทพอร์ทสามารถหาได้ ในทำนองเดียวกัน จาก 2.18 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{-Y_r}{Y_1 + Y_s} \qquad (4.23)$$

ถ้าหากสมการ 4.18 ด้วย V แทนค่าจากสมการ 4.24 เข้าไปจะได้ค่าเอาท์พุทแอดมิแทนซ์ ดังนี้

$$Y_2 = \frac{I_2}{V_2} = Y_0 \frac{-Y_r Y_f}{Y_1 + Y_s} \qquad (4.24)$$

เสถียรภาพของวงจรขยาย

วงจรขยายที่มีเสถียรภาพ (Stable) คือ วงจรขยายที่ไม่เกิดมีการออสซิเลทที่ไม่ต้องการวงจรขยายใด ๆ อาจเกิดการออสซิเลทได้ ถ้าพลังงานบางส่วนจากเอาท์พุท ถูกป้อนกลับมายังอินพุทด้วยเฟส (Phase) ที่เหมาะสม การคัปปลิ้ง (Coupling) จากเอาท์พุทมายังอินพุทเกิดจากค่าคาปาซิแทนซ์ภายในอุปกรณ์แอคทีฟ (Active Device) นั้นเองและจากอุปกรณ์ภายนอก เนื่องจากค่ารีแอคแทนซ์ (Reactance) ของฟีดแบคคาปาซิแตนซ์จะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้น เพราะฉะนั้นวงจรขยายในย่าน RF จึงแนวโน้มที่จะเกิดของออสซิเลทมากกว่าวงจรขยายในย่านความถี่เสียง

จุดประสงค์ในการออกแบบวงจร RF Amplifier คือ การที่จะได้รับเกนมากที่สุดที่ระดับของการมีเสถียรภาพค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถทำได้ถ้าทราบค่า Y พารามิเตอร์ของอุปกรณ์แอคทีฟ การวิเคราะห์โดยวิธีนี้ สามารถประยุกต์ใช้กับการออกแบบวงจรมิกเซอร์ได้เช่นกัน

เสถียรภาพของอุปกรณ์

ค่าความเสถียรภาพของอุปกรณ์แอคทีฟเป็นเรื่องสำคัญในการเลือกใช้อุปกรณ์และในการออกแบบวงจรขยาย ค่าเสถียรภาพของลินวิลล์ (Linvill Stability Factor) เป็นการวัดเสถียรภาพของอุปกรณ์ภายใต้เงื่อนไขที่เลวร้ายที่สุด นั่นคือ ทั้งอินพุทและเอาท์พุทพอร์ทถูกเปิดวงจร ค่าเสถียรภาพของลินวิลล์สามารถหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\left| Y_f \, Y_r \right|}{2g_1 \, g_o - R_o \, (Y_f \, Y_r)} = C \qquad (4.25)$$

ถ้า C น้อยกว่า 1 อุปกรณ์จะเสถียรภาพโดยปราศจากเงื่อนไข แต่ถ้า C มากกว่า 1 อุปกรณ์นั้นมีแนวโน้มที่จะไม่เสถียรภาพ โดยถ้าค่าซอร์สและโหลดที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการออสซิเลทขึ้นได้ RF ทรานซิสเตอร์และเฟ็ทจำนวนมากมีแนวโน้มที่จะไม่เสถียรภาพในช่วงความถี่ใด ๆ ทั้งนี้ เนื่องจากค่า ฟีดแบคคาปาซิแทนซ์ภายใน

เสถียรภาพของวงจร

การต่อค่าซอร์สและโหลดที่เหมาะสมให้กับอุปกรณ์แอคทีฟ จะช่วยทำให้เสถียรภาพของวงจรขยายดีขึ้น สเทอร์น (Stern) ได้หาค่าเงื่อนไขของเสถียรภาพโดยคิดค่าแอดมิตแทนซ์ของซอร์สและโหลดมาคำนวณด้วยพร้อม ๆ กับค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ ค่าเสถียรภาพของสเทอร์นหาได้จากสมการ

$$K = \frac{2 \, (g_l + G_s) \, (g_o + G_l)}{\left| Y_f \, Y_r \right| + R_o \, (Y_f Y_r)} \qquad (4.25A)$$

อัตราขยายสัญญาณสูงสุด

$$MAG = \frac{|Yf|^2}{4gigo}$$

ในกรณีของ

$Y_R = 0$

Y_L = ค่า complex conjugate ของ Y_O

Y_S = ค่า complex conjugate ของ Y_L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี C < 1

หลักการจะใช้วิธีเลือก Source ที่ matching กับ Yin ของ Tr และ Load ที่ matching กับ Yout ของ Tr มาต่อกับ Tr เงื่อนไขนี้ เรียกว่า Simultaneous conjugate matching

Source $Ys = Yin$

$$Gs + jBs = Gin + jBin$$

$$Gs = \frac{\sqrt{\left[2gigo - \mathrm{Re}(YfYr)\right]^2 - \left|YfYr\right|^2}}{2go}$$

$$Bs = -jb_i + \frac{\mathrm{Im}(YfYr)}{2go}$$

$$G_L = \frac{\sqrt{\left[2gigo - \mathrm{Re}(YfYr)\right]^2 - \left|YfYr\right|^2}}{2gi}$$

$$= \frac{Gsgo}{gi}$$

$$B_L = -jb_O + \frac{\mathrm{Im}(YfYr)}{2gi}$$

เมื่อ G_S = the source conductance.

B_S = the source susceptance.

G_L = the load conductance.

B_L = the load susceptance.

I_M = the imaginanary part of the product in parentheses

โดยที่ค่า G_s และ G_l เป็นค่าจริง (คอนดัคแตนซ์) ของ Y_s และ Y_1 ตามลำดับ ถ้าค่า K มากกว่า 1 วงจรจะมีเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้เกิดเสถียรภาพ

การไม่เสถียรภาพของวงจรขยายมักจะเกิดจากการป้อนกลับผ่าน Y_{rr} ของอุปกรณ์แอคทีฟ หรือผ่าน Y_{rc} ของวงจรที่ต่อประกอบภายนอก จากสมการ 4.25 และ 4.25A แสดงให้เห็นวิธีต่าง ๆ ที่จะทำให้เกิดเสถียรภาพดังนี้

1. ถ้าเราต่อฟีดแบคเน็ทเวอร์คโดยให้ค่า $Y_{rf} = -Y_{rr}$ จะทำให้ค่า Y_{rc} ซึ่งเป็นผลลัพธ์สุดท้ายมีค่าเท่ากับศูนย์ กรณีนี้วงจรขยายจะเสถียรภาพโดยไม่มีเงื่อนไข เนื่องจากไม่เกิดการป้อนกลับ วิธีนี้เรียกว่า การยูนิแลทเทอร์ราไลฟด์ (Unilateralized) แต่ถ้าค่า Y_{rr} เป็นจำนวนเชิงซ้อนการสร้างฟีดแบคเน็ทเวอร์คเพื่อให้ $Y_{rf} = -Y_{rr}$ อาจทำได้ยาก
2. ในทรานซิสเตอร์และเฟ็ทส่วนมากค่ารีเวอร์สทรานส์เฟอร์แอดมิตแทนซ์จะเป็นจำนวนเชิงซ้อน $Y_{rr} = G_{rr} + jB_{rr}$ และค่า G_{rr} มักน้อยมาก เมื่อเทียบกับค่า B_{rr} ในย่าน RF ถ้าเราให้วงจรป้อนกลับภายนอกมี $Y = jB = -jB_{rr}$ ค่าที่เหลือสุดท้ายคือ $Y_{ro} = -G_{rr}$ ซึ่งมักจะมีค่าน้อยจนวงจรเกิดเสถียรภาพได้ วิธีการนี้เรียกว่า การนิวทรอลไลซด์ (Neutralized)
3. โดยการยอมให้ค่าเกนน้อยลงไปบ้าง จะสามารถหลีกเลี่ยงการใช้วงจรนิวทรอลไลซ์ได้ โดยการเลือกค่า G_s และ G_L ให้มากพอที่จะทำให้ค่าเสถียรภาพของสเทอร์มีค่ามากกว่า 1 ซึ่งในทางปฏิบัติมักจะให้ค่าสเทอร์นแฟคเตอร์มีค่าในช่วง 4 ถึง 10 เพื่อให้มั่นใจว่ามีเสถียรภาพจริง

การออกแบบสำหรับอุปกรณ์ที่มีแนวโน้มไม่เสถียรภาพ

จะไม่กล่าวถึงการออกแบบสำหรับอุปกรณ์ที่เสถียรภาพโดยไม่มีเงื่อนไข (C<1 อุปกรณ์แอคทีฟ ซึ่งมีแนวโน้มไม่เสถียรภาพโดยค่า C มากกว่า 1 เราสามารถทำให้น้อยกว่า 1 โดยต่อวงจรฟีดแบคภายนอก แต่ก็ทำให้การออกแบบวงจรยุ่งยากขึ้นอีก นอกจากนั้น วงจรฟีดแบคจะให้ค่าฟีดแบครีแอคแทนซ์ที่ถูกต้องที่ความถี่ที่คำนวณเท่านั้น แต่ที่ความถี่อื่นอาจทำให้เกิดค่า Y_c ซึ่งอาจทำให้เกิดการออสซิเลทขึ้นและการปรับแต่ง วงจรฟีดแบคยังทำได้ยาก จากค่าเสถียรภาพของสเทอร์นตามสมการ 2.25A แสดงให้เห็นว่าเสถียรภาพของวงจรขยายอาจมีได้โดยไม่ต้องใช้วงจรฟีดแบค ถ้าค่า G_s และ G_L มีค่ามากพอในวงจร RF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Amplifier ค่า G_s มักจะถูกกำหนดโดยการพิจารณาถึงน้อย ซึ่งถ้าค่า G_s ถูกกำหนดเช่นนี้แล้ว และเลือกค่าสเทอร์นแฟคเตอร์ เพื่อที่จะให้วงจรมีเสถียรภาพในของเขตหนึ่ง (เช่นค่า G_L อยู่ระหว่าง 4 ถึง 10) จะสามารถหาค่า G_L ได้จาก 4.25A

จากนั้นจะต้องหาค่า B_s และ B_L ซึ่งทำให้วงจรทางอินพุท และเอาท์พุทเกิดรีโซแนนซ์ (Resonance) นั่นคือ $B_s = -B_1$ และ $B_L = -B_2$ โดยที่ B_1 และ B_2 คือค่าอินพุท และเอาท์พุทซัสเซปแทนซ์ (Susceptance) ของวงจรขยายเมื่อพอร์ทตรงข้ามถูกต่อด้วยค่าที่ต้องการ เนื่องจากวงจรขยายไม่ได้มีการยูนิแลทเทอร์ราไลซ์ด การต่อค่าใด ๆ ทางเอาท์พุทจะมีผลต่ออินพุทแอดมิตแทนซ์ของวงจรก็จะขึ้นกับค่าที่ต่อทางด้านอินพุทด้วยตามสมการ 4.22 และในทำนองเดียวกันค่าเอาท์พุทแอดมิตแทนซ์ของวงจรก็จะขึ้นกับค่าที่ต่อทางด้านอินพุทด้วยตามสมการ 4.24 ซึ่งการคำนวณค่า B_s และ B_L ให้ได้ใกล้เคียงตามวิธีของสเทอร์นนั้นยุ่งยากพอสมควรแต่วิธีที่จะใช้ต่อไปนี้ให้ค่าประมาณได้ใกล้เคียง และสามารถคำนวณได้รวดเร็วพอสมควร และยังสามารถได้โดยใช้คอมพิวเตอร์อีกด้วยสมมติว่าได้เลือกค่า G_s และ G_L ที่ต้องการแล้วทำการคำนวณดังต่อไปนี้

1. สมมติว่าค่าเริ่มต้นของ B_L โดยให้ $B'_L = -b_{ot}$ (ค่านี้จะถูกต้องถ้า $Y_{rt} = O$ ซึ่งทำให้ $Y_s = Yot$)
2. ให้ $YL = GL + jB'L$ แล้วคำนวณ $Y'L = G'L + jB'L$ โดยให้สมการ 4.22
3. ให้ $B'_s = -B'_1$ และ $Y'_s = G_s + jB_s$ คำนวณค่า $Y'_s = G_2 + jB_2$ โดยใช้สมการ 3.38 จากนั้นใช้ค่า $-B'_s$ เป็นค่า B'_L ตัวใหม่
4. ด้วยค่า B'_L ใหม่กลับไปทำตามข้อ 2 ใหม่ เพื่อหาค่า Y'_1 ตัวใหม่และทำต่อไปเรื่อย ๆ
5. ทำตามข้อ 2 ถึงข้อ 4 จนกระทั่งค่าของ B_S และ B_L ค่อนข้างจะคงที่ (โดยมากการคำนวณประมาณครั้งที่สามก็จะให้ค่าที่ใกล้เคียงแล้ว)
6. คำนวณค่าทรานส์ดิวเซอร์เกน (Transducer Gain) จาก

$$GT = \frac{4G_sG_L \left| Y_r \right|}{\left| (Y_1 + Y_s)(Y_o + Y_L) - Y_r Y_r^{\,2} \right|} \qquad (4.25B)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้าง Inductance ให้ได้ค่าตามความต้องการ

ลวดตัวนำที่พันหรือขดขึ้นเป็นคอยส์ มักจะใช้ในวงจรที่มีความถี่ไฟสลับ ทำหน้าที่เป็นตัวที่ทำให้เกิดอินดัคแตนซ์ในวงจรเราเรียกอุปกรณ์พวกนี้ว่า อินดัคเตอร์ (Inductor) แกนของอินดัคเตอร์มีทั้งทำจากสารแม่เหล็ก เช่น แกนเหล็กหรือ แกนเฟอร์ไรท์ อินดัคเตอร์ที่พันเปล่า ๆ โดยไม่ได้ใช้สารแม่เหล็กเป็นแกน เรียกว่า อินดัคเตอร์แกนอากาศ (Air Core Inductor) ค่าที่เกิดจากการขุบตัวพองตัวของสนามแม่เหล็กในอินดัคเตอร์ที่ต่อยู่ในวงจรไฟฟ้าสลับคือค่า อินดัคแตนซ์ ทำให้มีคุณสมบัติของวงจรไฟฟ้าที่พยายามจะต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลในวงจร

ค่าของอินดัคแตนซ์ขึ้นกับชนิดและขนาดของแกน รวมทั้งลักษณะการพันคอยส์และจำนวนขดลวดของคอยส์ คอยส์ที่ใช้แกนเป็นสารแม่เหล็กจะมีค่าอินดัคแตนซ์มากกว่าคอยส์ที่ใช้แกนเป็นฉนวนหรืออากาศมากจะทำให้มีค่าอินดัคแตนซ์มากขึ้นตามไปด้วย ในวงจรความถี่ปานกลางและที่ความถี่สูงขึ้นไปค่าอินดัคแตนซ์ที่ใช้จะอยู่ในช่วงไมโครเฮนรี่ (μH)

ค่าอินดัคแตนซ์โดยประมาณของขดลวดที่พันชั้นเดียวบนแกนอากาศคำนวณได้จากสูตร

$$L = a^2 n^2 / (9a + 10b)$$

หรือหาจำนวนรอบของขดลวดได้โดยการจัดสูตรใหม่ได้ดังนี้

$$n = \sqrt{L(9a + 10b) / a^2}$$

เมื่อ

L คือ ค่าอินดัคแตนซ์มีหน่วยเป็น μH

a คือ รัศมีของคอยส์มีหน่วยเป็น นิ้ว

b คือ ความยาวในการพันขดลวดมีหน่วยเป็น นิ้ว

n คือ จำนวนรอบของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

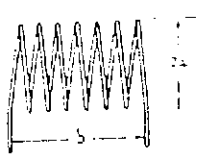
ค่าที่ได้จากการคำนวณของสูตรนี้จะใกล้เคียงความเป็นจริงถ้าความยาวของการพันคอยล์ (ค่า b) มีไม่น้อยกว่า 0.8a จากนั้นนำจำนวนรอบที่ได้หารด้วยความยาวของคอยล์เพื่อหาค่าจำนวนรอบต่อนิ้วซึ่งค่าที่ได้นี้จะนำมาใช้ในการเลือกขนาดของลวดในการพันคอยล์จากตารางแสดงคุณสมบัติของลวด

เบอร์ลวด AWG	เบอร์ลวด SWG ที่ใกล้เคียง	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	จำนวนรอบ/นิ้ว	จำนวนรอบต่อ ต.ร นิ้ว	ค่าΩ/1000 ฟุตที่ 25° ซ
1	1	7.348	-	-	0.1264
2	3	6.544	-	-	0.1593
3	4	5.827	-	-	0.2009
4	5	5.189	-	-	0.2533
5	7	4.621	-	-	0.3195
6	8	4.115	-	-	0.4028
7	9	3.665	-	-	0.5080
8	10	3.264	7.6	57	0.6405
9	11	2.906	8.6	72	0.8077
10	12	2.588	9.6	90	1.018
11	13	2.305	10.7	113	1.284
12	14	2.053	12.0	141	1.619
13	15	1.828	13.5	177	2.042
14	16	1.628	15.0	221	2.575
15	17	1.450	16.8	277	3.247
16	18	1.291	18.9	348	4.094
17	18	1.150	21.2	437	5.163
18	19	1.024	23.6	548	6.510
19	20	0.912	26.4	681	8.210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20	21	0.812	29.4	852	10.35
21	22	0.723	33.1	1065	13.05
22	23	0.644	37.0	1340	16.46
23	24	0.573	41.3	1665	20.76
24	25	0.511	46.3	2100	23.17
25	26	0.455	51.7	2630	33.00
26	27	0.405	58.0	3320	41.62
27	29	0.361	64.9	4145	52.48
28	30	0.321	72.7	5250	66.17
29	31	0.286	81.6	6510	83.44
30	33	0.255	90.5	8175	105.2
31	34	0.227	101	10,200	132.7
32	36	0.202	113	12,650	167.3
33	37	0.180	127	16,200	211.0
34	38	0.160	143	19,950	266.0
35	38-39	0.143	158	25,000	335
36	39-40	0.127	175	31,700	423
37	41	0.113	198	39,600	533
38	42	0.101	224	49,100	673
39	43	0.090	248	67,600	848
40	44	0.080	282	77,600	1070

ตารางแสดงคุณสมบัติของลวดเคลือบน้ำยาเบอร์ต่าง ๆ



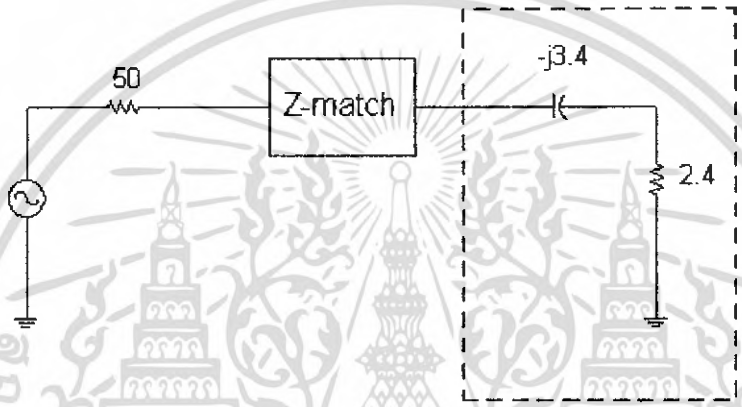
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบโดยการคำนวณ Matching

การออกแบบวงจร Matching แบบ L-network ของวงจรขยายทรานซิสเตอร์ MRF 314 หรือ 314A ระหว่าง source และ load = 50 ohm ที่ f = 30 MHz

วิธีทำ Input Transistor

Zin = 2.4 - j3.4



$$Q_S = Q_P = \sqrt{(Rp/Rs)-1}$$

$$= \sqrt{(50/2.4)-1} = 4.45$$

$$X_S = Q_S * R_S = 4.45 * 2.4$$

$$= 10.68 \text{ ohm}$$

$$R_P = R_p/Q_p = 50/4.45$$

$$= 11.24 \text{ ohm}$$

Q_S = Q ที่ขั้วอนุกรม

Q_P = Q ที่ขั้วขนาน

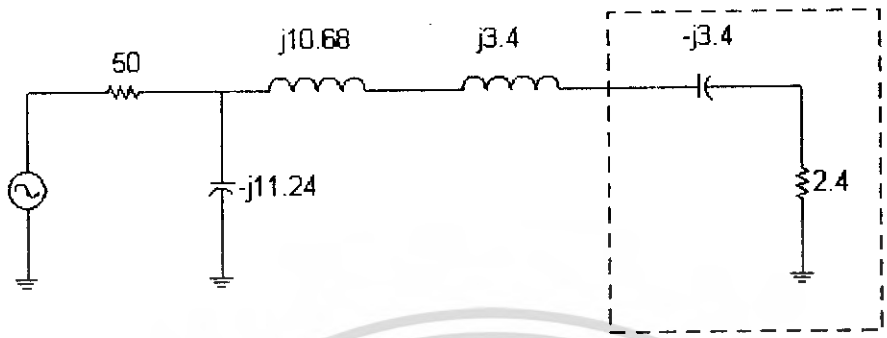
R_P = ความต้านทานขนาน

X_P = รีแอกแตนซ์ที่ขนาน

R_S = ความต้านทานที่ต่ออนุกรม

X_S = รีแอกแตนซ์ที่ต่ออนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Output Transistor

$Zol = 18.0 - j12.1$

$Q_S = Q_P = \sqrt{(Rp/Rs) - 1}$

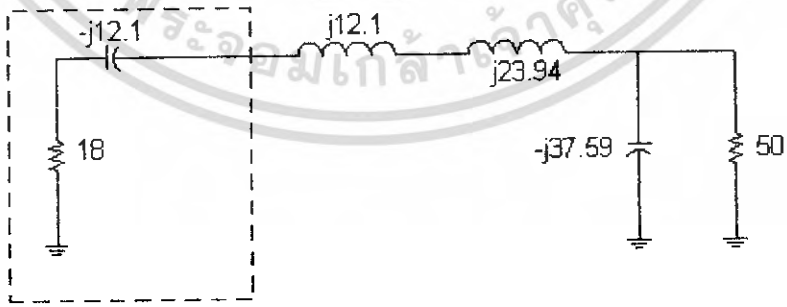
$= \sqrt{(50/18.0) - 1} = 1.33$

$X_S = Q_S * R_S = 1.33 * 18.0$

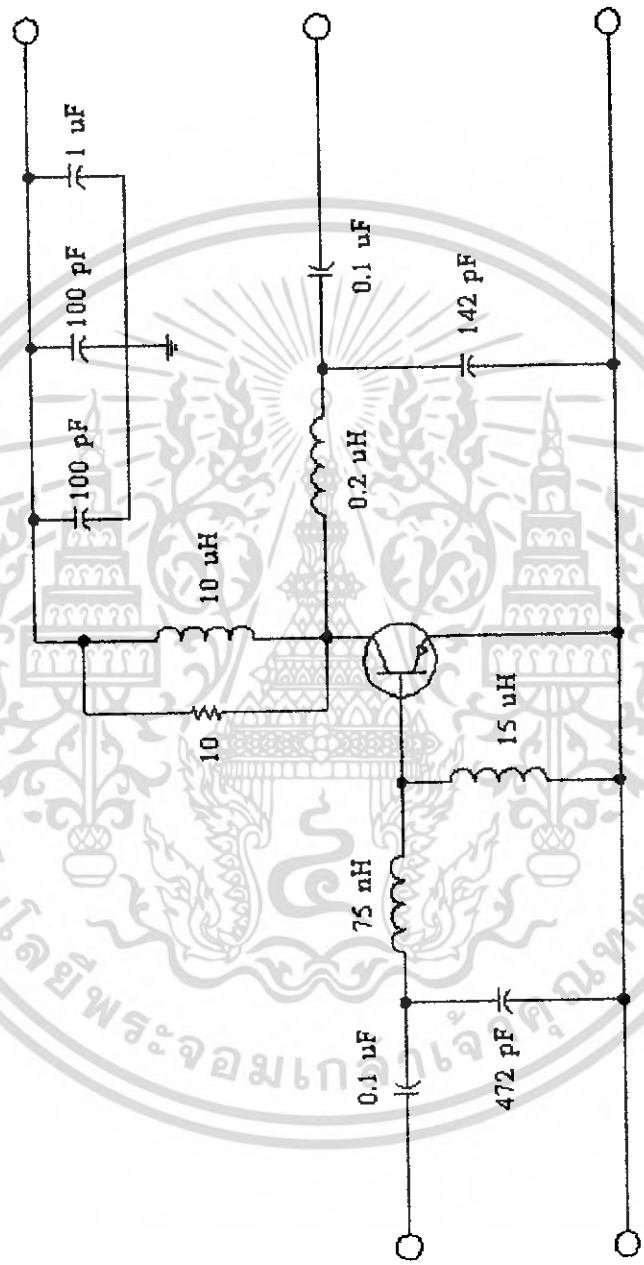
$= 23.94$ ohm

$R_P = R_P/Q_P = 50/1.33$

$= 37.59$ ohm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบโดยใช้โปรแกรม Z - Match

การออกแบบวงจร Matching แบบ L-network ของวงจรขยายทรานซิสเตอร์ MRF 314 หรือ 314A ระหว่าง source และ load = 50 ohm ที่ f = 30 MHz

วิธีทำ เลือก Normalized N = 50 Ω

Zin = 2.4 - j3.4

Zs = 50/50 = 1

Zl = (2.4 - j3.4) / 50 = 0.048 - j0.068

AB -- shunt C : jX = 4.3849

BC -- series L : jX = 0.2848

$C = B / \omega N = 4.3849 / (2*\pi * 50* 30* 10^6) = 465$ pF

$L = XN / \omega = (0.2848 * 50) / (2*\pi* 30 * 10^6) = 75$ nH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Admittance - mS:

0.0000 +j0.0000

0.0000 +j0.0000

Resistive

SWR = 1.01

Q Factor = 0.00

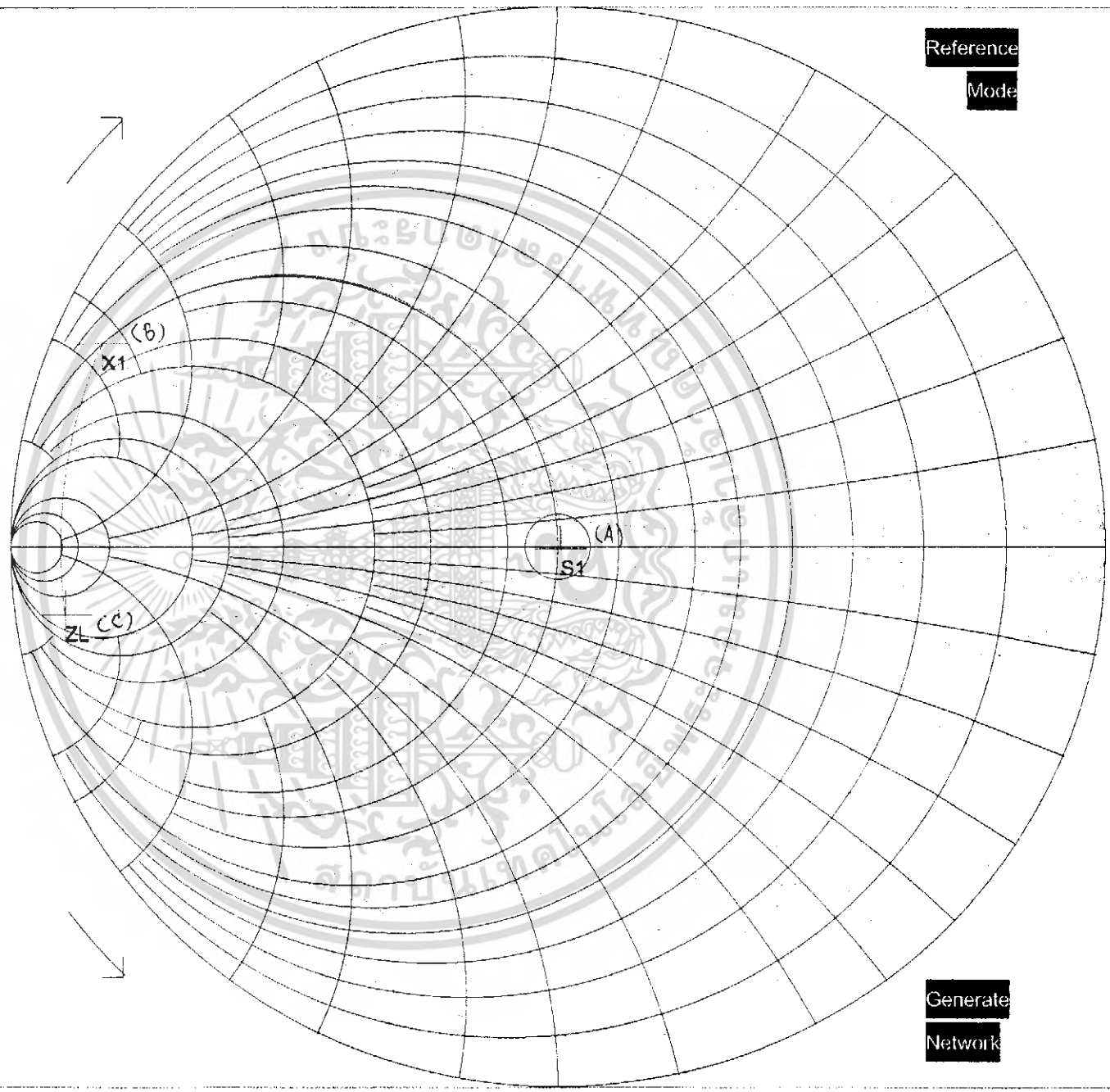
Ref. Coef. = 0.01

Angle = -25.31 Deg

Metres towards:

Generator = 0.0000

Load = 0.0000

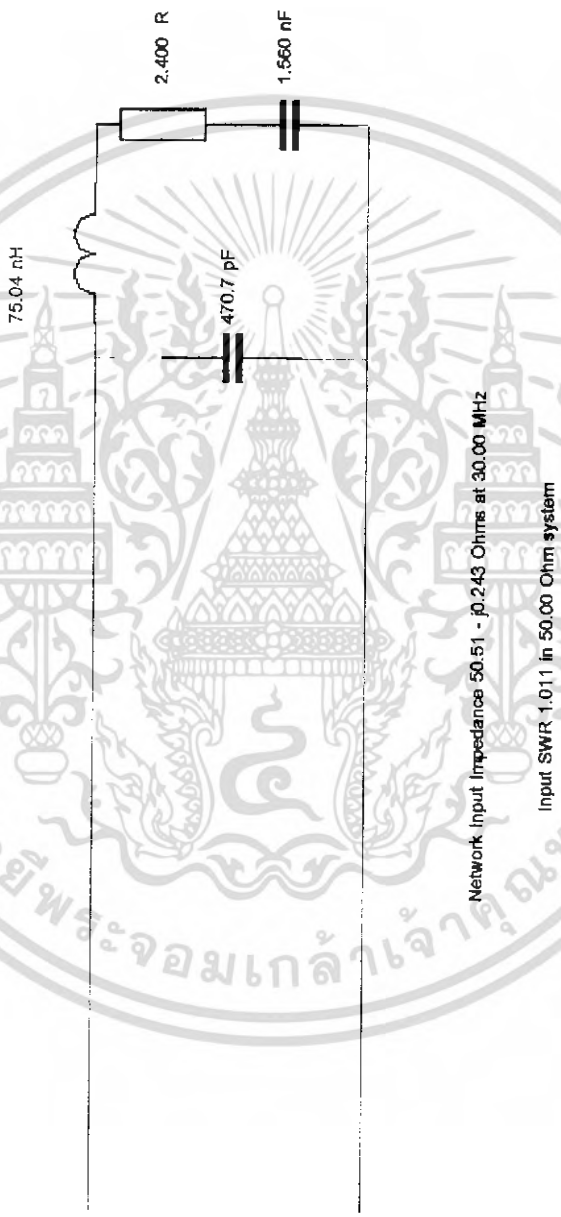


Zo 50 Ohm

Frequency 30.0 MHz

Dielectric Constant 1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Zo = 18.0 - j12.1$

$Zs = (18.0 - j12.1) / 50 = 0.36 - j0.242$

$Zl = 50/50 = 1$

AB -- shunt C : jX = 1.3387

BC -- series L : jX = 0.7206

$C = B / \omega N = 1.3387 / (2*\pi * 50 * 30 * 10^6) = 142$ pF

$L = XN / \omega = (0.7206 * 50) / (2*\pi * 30 * 10^6) = 0.19$ uH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impedance-Ohms:

17.958 -j23.920

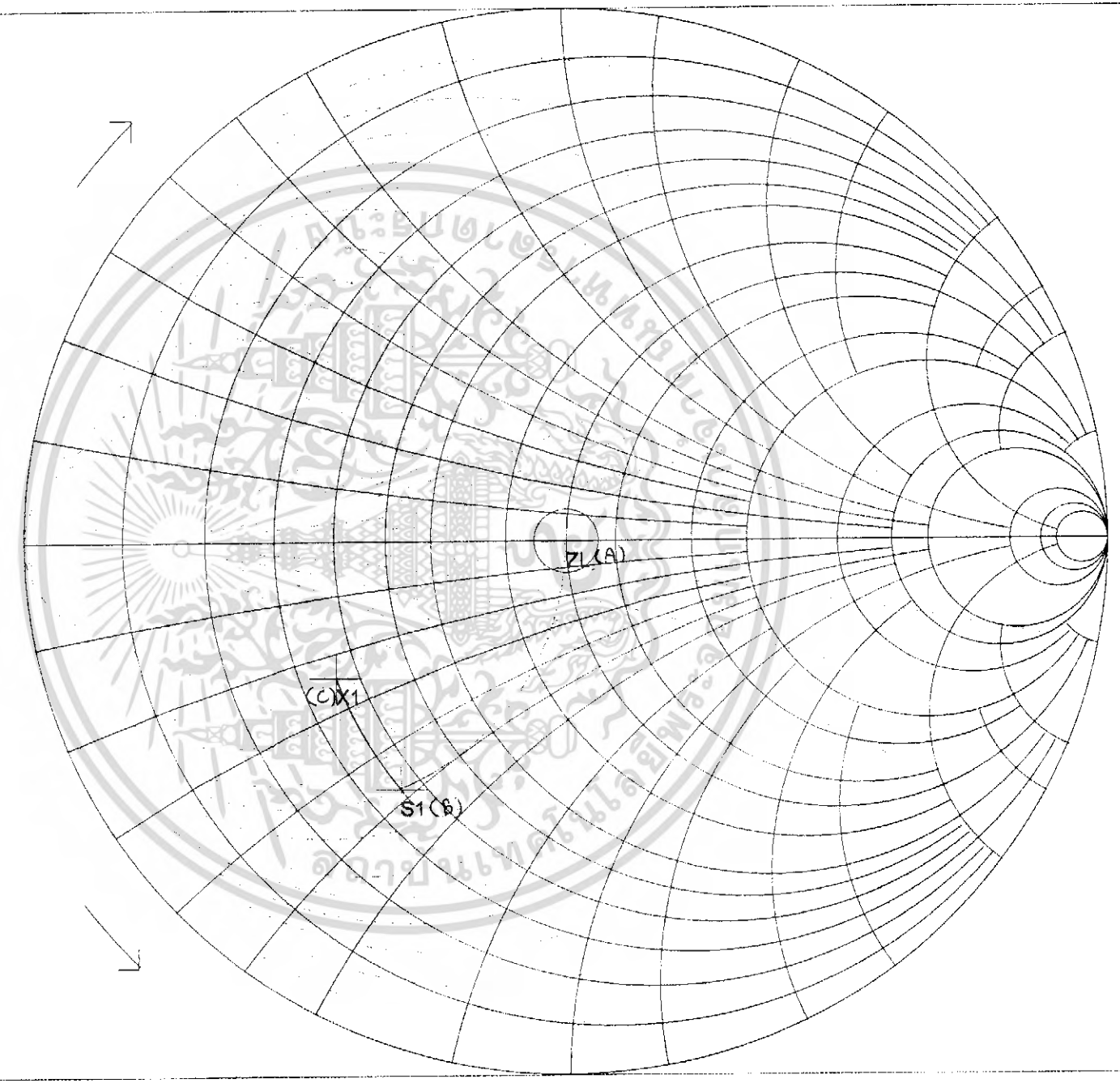
0.3591 -j0.4784

C = 221.89 pF

SWR	= 3.49
Q Factor	= 1.33
Ref. Coef.	= 0.55
Angle	= -123.8 Deg

Metres towards:

Generator	= 4.2203
Load	= 0.7796

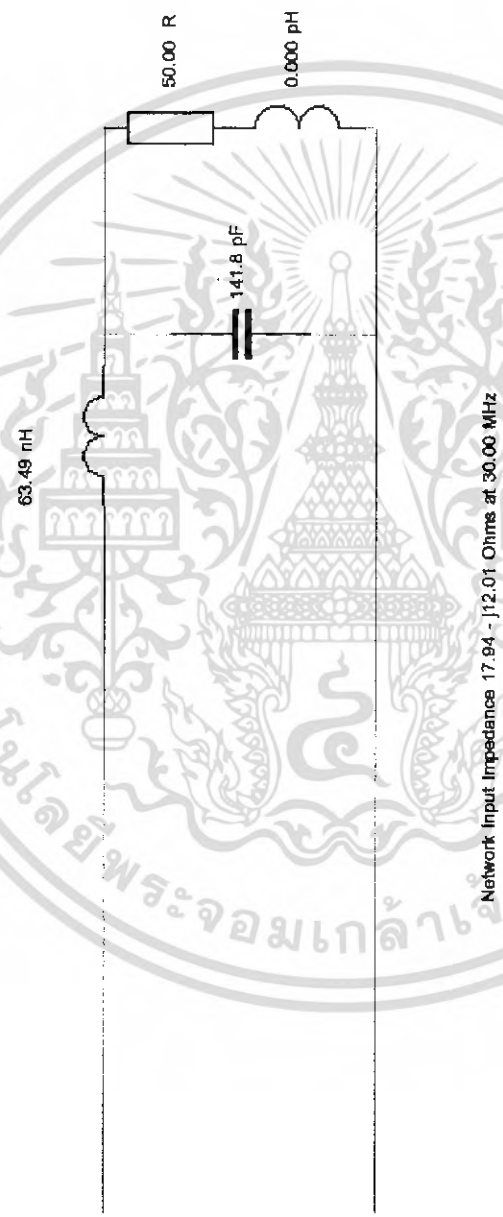


Zo 50 Ohm

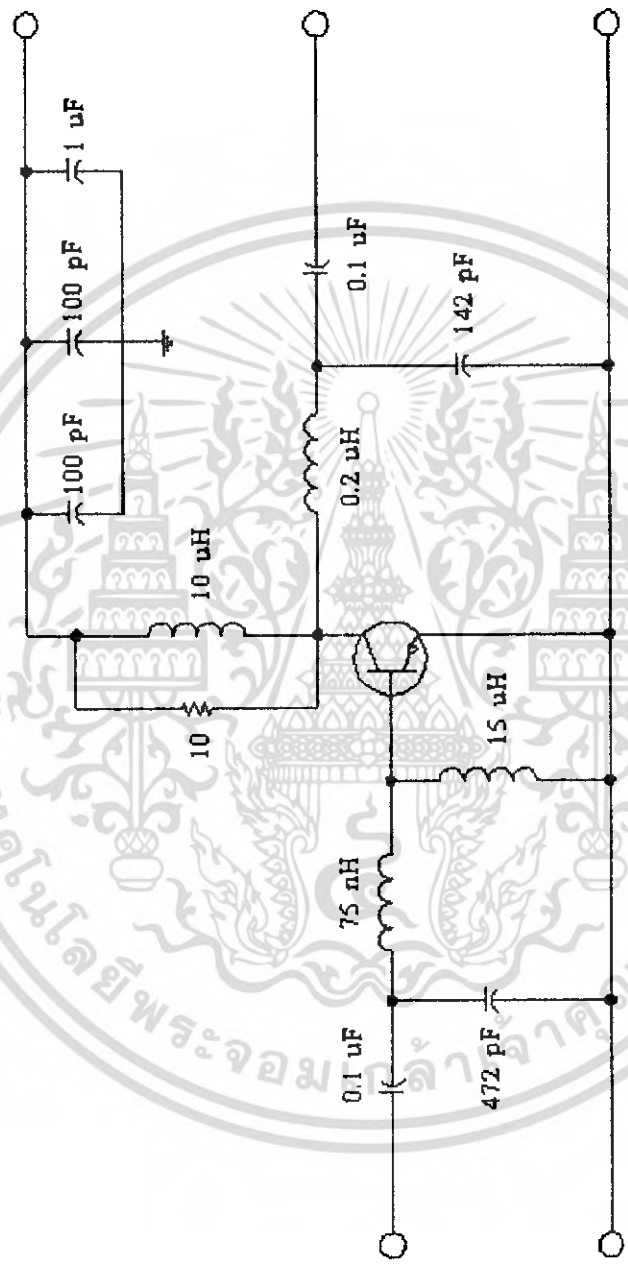
Frequency 30.0 MHz

Dielectric Constant 1.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังไม่ให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

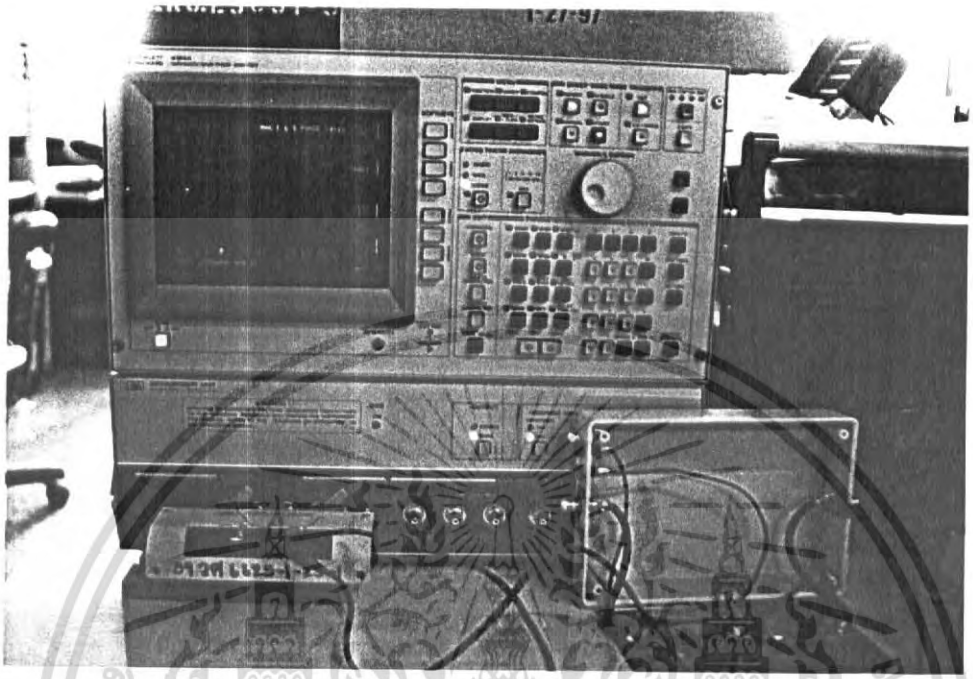


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

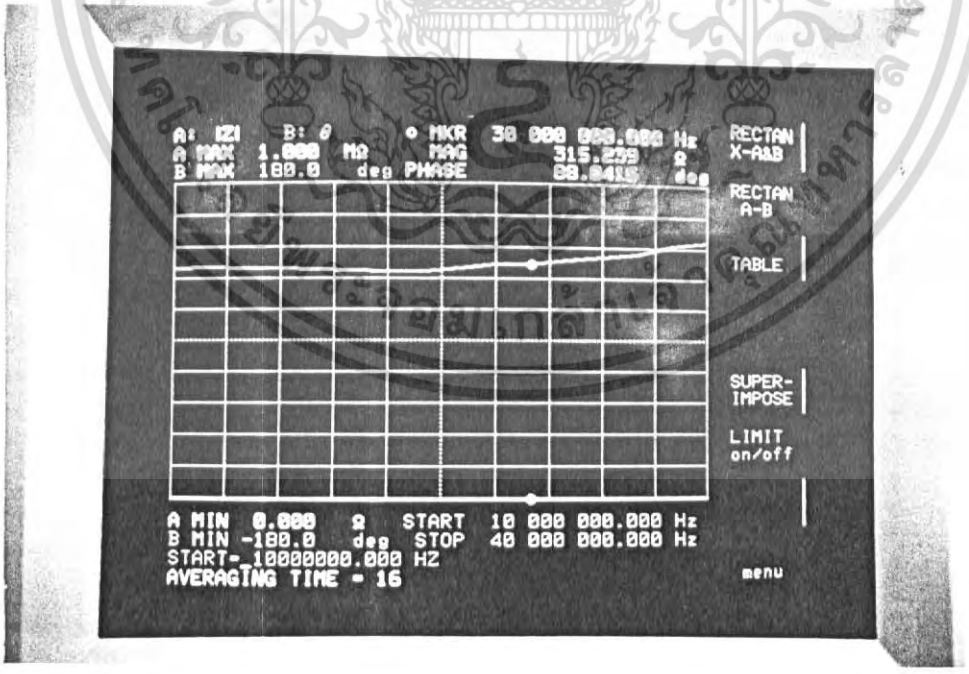


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปการทดลอง



รูปที่ 1 การต่อวงจรการทดลอง



รูปที่ 2 แสดงผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

N	Frequency (Hz)	GAIN (dB)		EFFICIENCY (%)
		OUTPUT	INPUT	
1	10 000 000	-26.3918	-5.5412	9
2	12 000 000	-25.4526	-8.8215	14.6
3	14 000 000	-25.3958	-12.6116	22.6
4	16 000 000	-25.6814	-17.1516	37.4
5	18 000 000	-26.1472	-20.1235	49.5
6	20 000 000	-26.3956	-20.2973	50
7	22 000 000	-25.4412	-18.5573	44.9
8	24 000 000	-23.1384	-18.1452	56.5
9	26 000 000	-22.4987	-16.4312	50
10	28 000 000	-21.9754	-17.5171	60.2
11	30 000 000	-21.4031	-19.1413	77.3
12	32 000 000	-21.2746	-13.8616	42.4
13	34 000 000	-22.0422	-15.7794	48.5
14	36 000 000	-22.8149	-16.70372	49.3
15	38 000 000	-23.8116	-17.9712	51.6
16	40 000 000	-23.5107	-19.8505	65.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N	Frequency (Hz)	MAGNITUDE		EFFICIENCY (%)
		OUTPUT	INPUT	
1	10 000 000	51.0248	60.4627	84.4
2	12 000 000	51.8453	60.8039	85.3
3	14 000 000	52.0198	61.1608	85
4	16 000 000	53.9468	62.8264	85.9
5	18 000 000	53.0895	63.4203	83.7
6	20 000 000	54.1824	65.2491	83
7	22 000 000	55.0124	66.7618	82.4
8	24 000 000	56.2157	66.3581	84.7
9	26 000 000	57.1203	67.0928	85.1
10	28 000 000	59.2175	68.1824	86.9
11	30 000 000	60.2596	68.2584	88.3
12	32 000 000	60.1574	70.2496	85.6
13	34 000 000	62.0427	71.3285	86.9
14	36 000 000	63.9451	73.5861	86.9
15	38 000 000	63.0527	75.2983	83.7
16	40 000 000	64.2796	77.8033	82.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Chris Bowick, "RF CIRCUIT DESIGN"

   Howard W.Sam & Co., Inc., 1982

2. Rbys Lewis, "SOLID - STATE DEVICES AND APPLICATION"

   High Frequency Amplifier Application; BUTT\HERWORTH & CO., LTD.,1971

3. John J. Corning, "TRANSISTOR CIRCUIT ANALYSIS AND DESIGN"

   Wide Band Amplifier Compensation Techniques; Prentice Hall, INC., 1965

4. Phillip Cutler, "SEMICONDUCTOR CIRCUIT ANALYSIS"

   Video Amplifier; Mc Graw Hill, INC.,1964

5. Millman - Halkias, "INTEGRATED ELECTRONICS"

   Multistate Amplifier; Mc Graw Hill Kigakusha LTD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบวงจรอิมพีแดนซ์แมทชิ่ง ซึ่งออกแบบที่ความถี่ 30 MHz ใช้ความถี่ในการป้อนโดยเริ่มที่ความถี่ 10 MHz ไปจนถึง 40 MHz โดยจะมีการเพิ่มขึ้นเป็นลำดับครั้งละ 2 MHz ผลที่ได้จากการทดลองเลือกค่าที่ความถี่ 30 MHz จะมีประสิทธิภาพการขยาย 77.3% และขนาดของแมกนิจูดมีประสิทธิภาพ 88.3% จะเห็นว่าค่าที่ได้มีประสิทธิภาพที่ดีพอสมควร ซึ่งหากมีผู้ที่สนใจจะศึกษาหรือพัฒนาต่อก็สามารถที่จะทำให้มีประสิทธิภาพดีเพิ่มมากขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RF POWER AMPLIFIER MATCHING DESIGN

Design By Smith Chart

Design By Equation

QUIT

Design By Equation

Type L

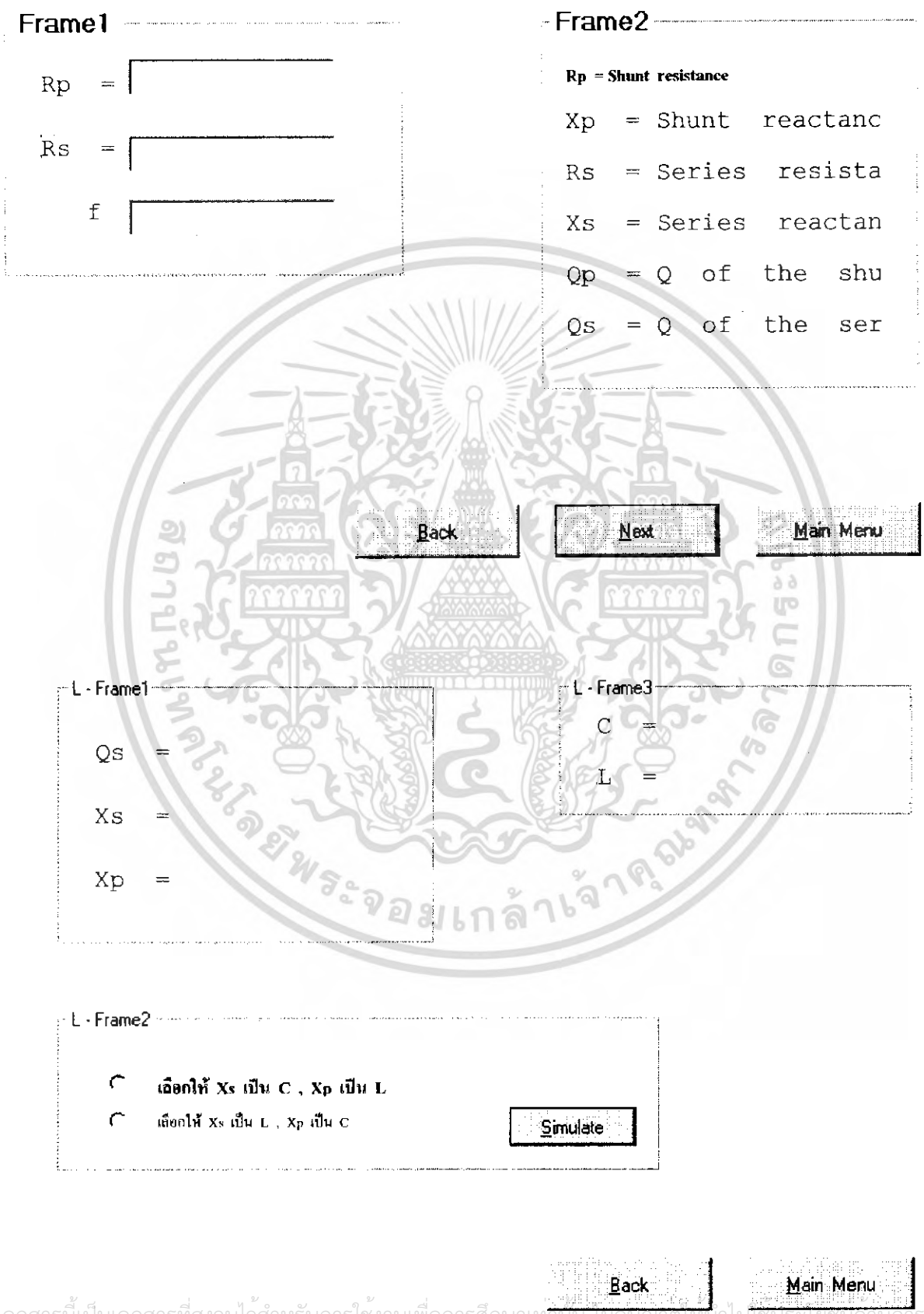
Type Pi

Type T

Back Main Menu

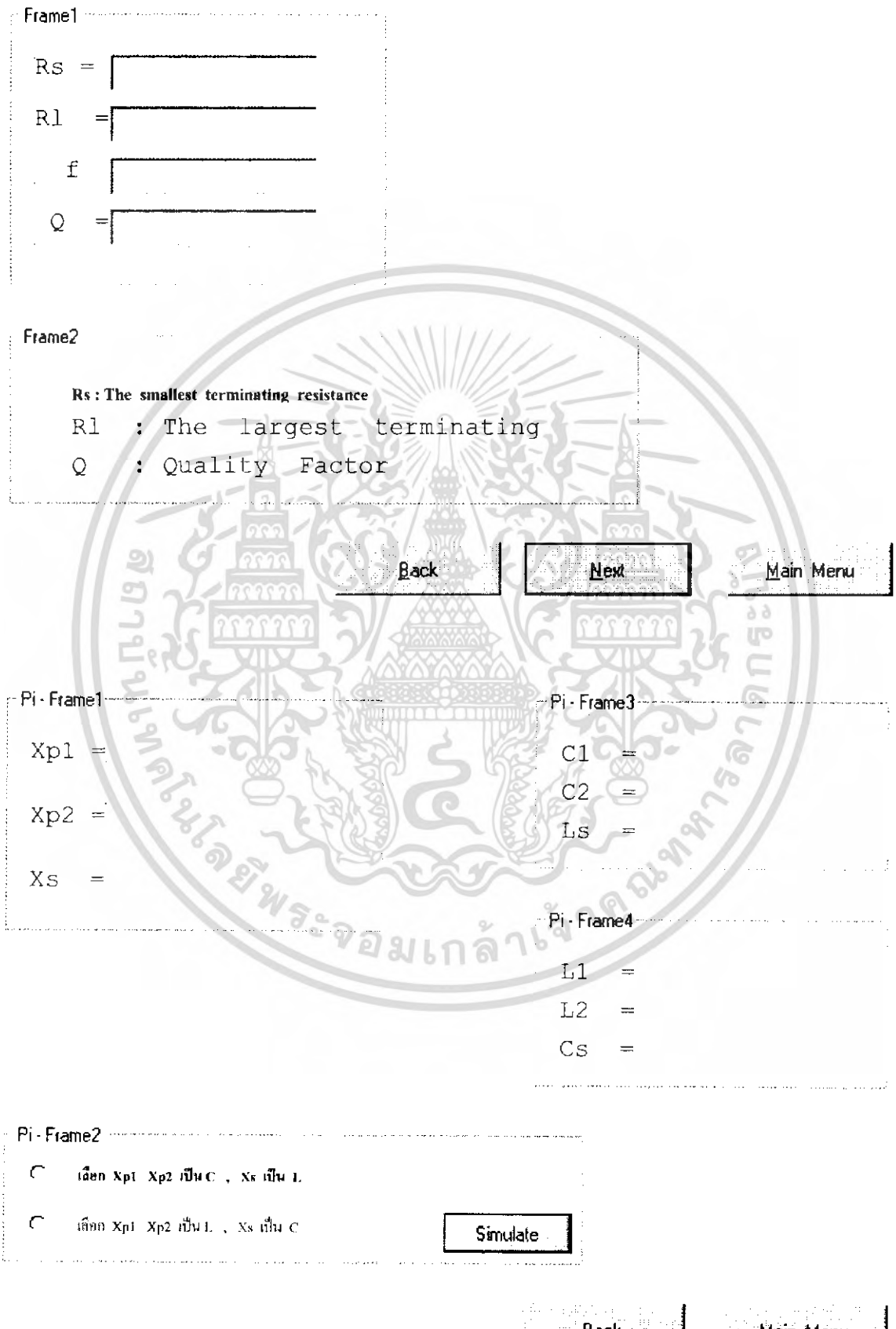
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L Network



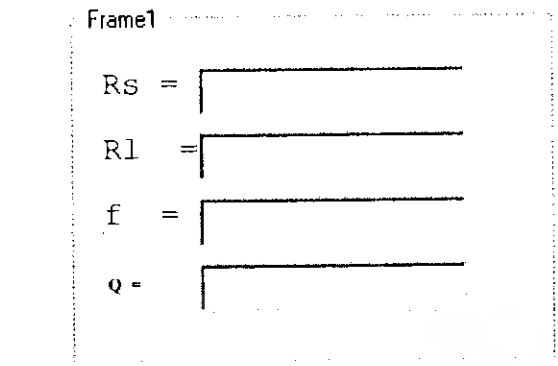
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

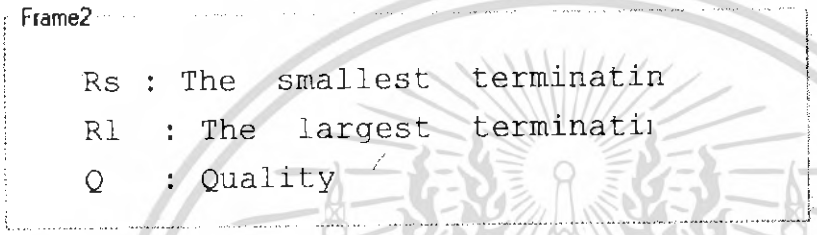
Pi Network

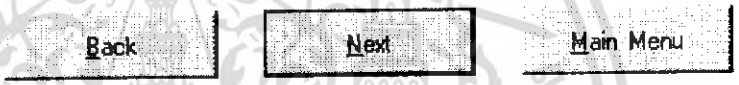


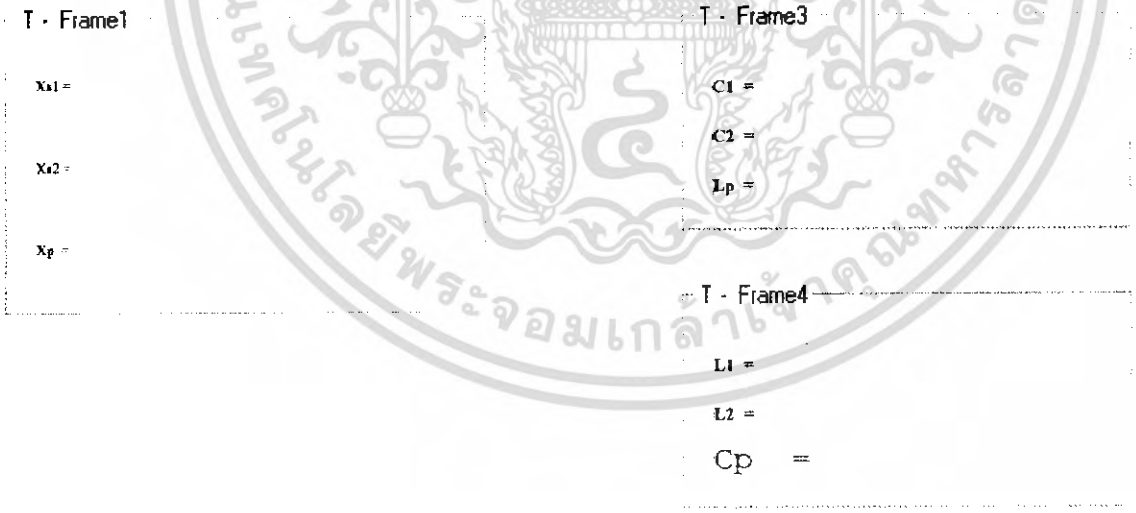
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

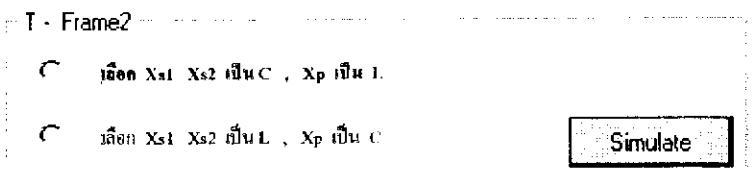
T Network

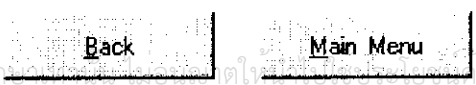












เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Module1 - 1

Global Const Pi = 22 / 7
Global qs, xs, xp, rp, rs, f As Double
Global C, L, Temp1, Temp2 As Double

Global Rss, R1, Q As Double
Global R, Xp1, Xp2, Xs1, Xs2, Xss, Q1 As Double
Global C1, C2, Cs, L1, L2, Ls As Double
Global Temp11, Temp12, Temp13 As Double

Global Xpp, Q2 As Double
Global Temp21, Temp22, Temp23 As Double
```

```
Form1 - 1

Private Sub Frame1 DragDrop(Source As Control, X As Single, Y As Single)

End Sub

Private Sub Drive1 Change()

End Sub

Private Sub Option1 Click()

End Sub

Private Sub Command1 Click()
    d = Shell("c:\smith\smithw32.exe", 1)
End Sub

Private Sub Command2 Click()
    Form2.Show modal

End Sub

Private Sub Command3 Click()
    End
End Sub

Private Sub Text1 Change()

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form2 - 1

```
Private Sub Text1 Change()

End Sub


Private Sub Command1 Click()
    Form3.Show modal

End Sub


Private Sub Command2 Click()
    Form5.Show modal
End Sub

Private Sub Command3 Click()
    Form7.Show modal
End Sub

Private Sub Command4 Click()
    Form2.Hide

End Sub


Private Sub Command5 Click()
    Form2.Hide
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Form3 - 1

Private Sub Command4 Click()

End Sub


Private Sub Command1 Click()
    Form3.Hide
    Form2.Show 0
End Sub


Private Sub Command2 Click()
    If Not IsNumeric(Text1.Text) Then
            d = MsgBox("      ข้อมูลที่ใส่ยังไม่สมบูรณ์      ",0,"    เกิดข้อผิดพลาด   ")
            Text1.SetFocus
    ElseIf Not IsNumeric(Text2.Text) Then
            d = MsgBox("      ข้อมูลที่ใส่ยังไม่สมบูรณ์      ",0,"    เกิดข้อผิดพลาด   ")
            Text2.SetFocus
    ElseIf Not IsNumeric(Text3.Text) Then
            d = MsgBox("      ข้อมูลที่ใส่ยังไม่สมบูรณ์      ",0,"    เกิดข้อผิดพลาด   ")
            Text3.SetFocus
    Else
            rp = Val(Text1.Text)
            rs = Val(Text2.Text)
            f = Val(Text3.Text)
            If rp < rs Then
               d = MsgBox("      ข้อมูลที่ใส่ไม่ถูกต้อง      ",0," เกิดข้อผิดพลาด   ")
               Text1.SetFocus
            Else
               qs = Sqr(rp / rs - 1)
               qp = qs
               xs = qs * rs
               xp = rp / qp
               Form4.Show modal
            End If
        End If
End Sub


Private Sub Command3 Click()
    Form3.Hide
    Form2.Hide
    Form1.Show 0

End Sub


Private Sub Form Load()
    Text1.Text = " "
    Text2.Text = " "
    Text3.Text = " "

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form4 - 1

```
Private Sub Command1 Click()
    If Option1.Value = True Then
        Temp1 = xs
        Temp2 = xp
        C = 1 / (2 * Pi * f * Temp1)
        L = Temp2 / (2 * Pi * f)
        Label11.Caption = Format$(C)
        Label12.Caption = Format$(L)
    ElseIf Option2.Value = True Then
        Temp1 = xp
        Temp2 = xs
        C = 1 / (2 * Pi * f * Temp1)
        L = Temp2 / (2 * Pi * f)
        Label11.Caption = Format$(C)
        Label12.Caption = Format$(L)
    End If
End Sub

Private Sub Command2 Click()
    Form4.Hide

End Sub


Private Sub Command3 Click()
    Form4.Hide
    Form3.Hide
    Form2.Hide
    Form1.Show 0
End Sub


Private Sub Form Activate()
    Label4.Caption = Format$(qs)
    Label5.Caption = Format$(xs)
    Label6.Caption = Format$(xp)

End Sub

Private Sub Form Load()
    Label4.Caption = Format$(qs)
    Label5.Caption = Format$(xs)
    Label6.Caption = Format$(xp)

    Option1.Value = False
    Option2.Value = False
    Label11.Caption = ""
    Label12.Caption = ""
End Sub


Private Sub Option1 Click()
    Option1.Value = True
    Option2.Value = False
End Sub


Private Sub Option2 Click()
    Option2.Value = True
    Option1.Value = False
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Form5 - 1

Private Sub Picture1 Click()

End Sub


Private Sub Command1 Click()
    Form5.Hide
    Form2.Show 0
End Sub


Private Sub Command2 Click()
    If Not IsNumeric(Text1.Text) Then
            d = MsgBox("     ข้อมูลที่ใส่ยังไม่สมบูรณ์      ",0,"    เกิดข้อผิดพลาด.   ")
            Text1.SetFocus
    ElseIf Not IsNumeric(Text2.Text) Then
            d = MsgBox("     ข้อมูลที่ใส่ยังไม่สมบูรณ์      ",0,"    เกิดข้อผิดพลาด   ")
            Text2.SetFocus
    ElseIf Not IsNumeric(Text3.Text) Then
            d = MsgBox("     ข้อมูลที่ใส่ยังไม่สมบูรณ์      ",0,"    เกิดข้อผิดพลาด   ")
            Text3.SetFocus
    ElseIf Not IsNumeric(Text3.Text) Then
            d = MsgBox("     ข้อมูลที่ใส่ยังไม่สมบูรณ์      ",0,"    เกิดข้อผิดพลาด   ")
            Text4.SetFocus

    Else
            Rss = Val(Text1.Text)
            Rl = Val(Text2.Text)
            f = Val(Text3.Text)
            Q = Val(Text4.Text)


            R = Rl / (Q ^ 2 + 1)
            Xp2 = Rl / Q
            Xs2 = Q * R
            Q1 = Sqr(Rss / R - 1)
            Xp1 = Rss / Q1
            Xs1 = Q1 * R
            Xss = Xs1 + Xs2
            Form6.Show modal

    End If

End Sub

Private Sub Command3 Click()
    Form5.Hide
    Form2.Hide
    Form1.Show 0

End Sub


Private Sub Form Load()
    Text1.Text = " "
    Text2.Text = " "
    Text3.Text = " "
    Text4.Text = " "

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form6 - 1

```
Private Sub Command1 Click()
    If Option1.Value = True Then
        Temp11 = Xp1
        Temp12 = Xp2
        Temp13 = Xss

        C1 = 1 / (2 * Pi * f * Temp11)
        C2 = 1 / (2 * Pi * f * Temp12)
        Ls = Temp13 / (2 * Pi * f)
        Label15.Caption = Format$(C1)
        Label16.Caption = Format$(C2)
        Label17.Caption = Format$(Ls)

    ElseIf Option2.Value = True Then
        Temp11 = Xp1
        Temp12 = Xp2
        Temp13 = Xss

        L1 = Temp11 / (2 * Pi * f)
        L2 = Temp12 / (2 * Pi * f)
        Cs = 1 / (2 * Pi * f * Temp13)
        Label18.Caption = Format$(L1)
        Label19.Caption = Format$(L2)
        Label20.Caption = Format$(Cs)
    End If

End Sub

Private Sub Command2 Click()
    Form6.Hide
End Sub


Private Sub Command3 Click()
    Form6.Hide
    Form5.Hide
    Form2.Hide
    Form1.Show 0
End Sub

Private Sub Form Activate()
    Label4.Caption = Format$(Xp1)
    Label5.Caption = Format$(Xp2)
    Label6.Caption = Format$(Xss)

    Label15.Caption = ""
    Label16.Caption = ""
    Label17.Caption = ""
    Label18.Caption = ""
    Label19.Caption = ""
    Label20.Caption = ""
End Sub

Private Sub Form Load()
    Label4.Caption = Format$(Xp1)
    Label5.Caption = Format$(Xp2)
    Label6.Caption = Format$(Xss)

    Option1.Value = False
    Option2.Value = False
    Label15.Caption = ""
    Label16.Caption = ""
    Label17.Caption = ""
    Label18.Caption = ""
    Label19.Caption = ""
    Label20.Caption = ""
End Sub
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Form7 - 1

Private Sub Command1 Click()
    Form7.Hide
    Form2.Show 0

End Sub

Private Sub Command2 Click()
    If Not IsNumeric(Text1.Text) Then
            d = MsgBox("    ข้อมูลที่ใส่ยังไม่สมบูรณ์          ",0,"    เกิดข้อผิดพลาด    ")
            Text1.SetFocus
    ElseIf Not IsNumeric(Text2.Text) Then
            d = MsgBox("    ข้อมูลที่ใส่ยังไม่สมบูรณ์          ",0,"    เกิดข้อผิดพลาด    ")
            Text2.SetFocus
    ElseIf Not IsNumeric(Text3.Text) Then
            d = MsgBox("    ข้อมูลที่ใส่ยังไม่สมบูรณ์          ",0,"    เกิดข้อผิดพลาด    ")
            Text3.SetFocus
    ElseIf Not IsNumeric(Text3.Text) Then
            d = MsgBox("    ข้อมูลที่ใส่ยังไม่สมบูรณ์          ",0,"    เกิดข้อผิดพลาด    ")
            Text4.SetFocus

    Else
            Rss = Val(Text1.Text)
            Rl = Val(Text2.Text)
            f = Val(Text3.Text)
            Q = Val(Text4.Text)


            R = Rss * (Q ^ 2 + 1)
            Xs1 = Q * Rss
            Xp1 = R / Q
            Q2 = Sqr(R / Rl - 1)
            Xs2 = Q2 * Rl
            Xp2 = R / Q2
            Xpp = Xp1 + Xp2
            Form8.Show modal

    End If

End Sub


Private Sub Command3 Click()
    Form7.Hide
    Form2.Hide
    Form1.Show 0

End Sub

Private Sub Form Load()
    Text1.Text = " "
    Text2.Text = " "
    Text3.Text = " "
    Text4.Text = " "

End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form8 - 1

```
Private Sub Command1 Click()
    If Option1.Value = True Then
        Temp21 = Xs1
        Temp22 = Xs2
        Temp23 = Xpp

        C1 = 1 / (2 * Pi * f * Temp21)
        C2 = 1 / (2 * Pi * f * Temp22)
        Lp = Temp23 / (2 * Pi * f)
        Label15.Caption = Format$(C1)
        Label16.Caption = Format$(C2)
        Label17.Caption = Format$(Lp)

    ElseIf Option2.Value = True Then
        Temp21 = Xs1
        Temp22 = Xs2
        Temp23 = Xpp

        L1 = Temp21 / (2 * Pi * f)
        L2 = Temp22 / (2 * Pi * f)
        Cp = 1 / (2 * Pi * f * Temp23)
        Label18.Caption = Format$(L1)
        Label19.Caption = Format$(L2)
        Label20.Caption = Format$(Cp)
    End If

End Sub

Private Sub Command2 Click()
    Form8.Hide
End Sub


Private Sub Command3 Click()
    Form8.Hide
    Form7.Hide
    Form2.Hide
    Form1.Show 0

End Sub


Private Sub Form Activate()
    Label4.Caption = Format$(Xs1)
    Label5.Caption = Format$(Xs2)
    Label6.Caption = Format$(Xpp)

    Label15.Caption = ""
    Label16.Caption = ""
    Label17.Caption = ""
    Label18.Caption = ""
    Label19.Caption = ""
    Label20.Caption = ""

End Sub

Private Sub Form Load()
    Label4.Caption = Format$(Xs1)
    Label5.Caption = Format$(Xs2)
    Label6.Caption = Format$(Xpp)

    Option1.Value = False
    Option2.Value = False
    Label15.Caption = ""
    Label16.Caption = ""
    Label17.Caption = ""
    Label18.Caption = ""
    Label19.Caption = ""
    Label20.Caption = ""
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

MRF314
MRF314A

The RF Line

30 W — 30 – 200 MHz

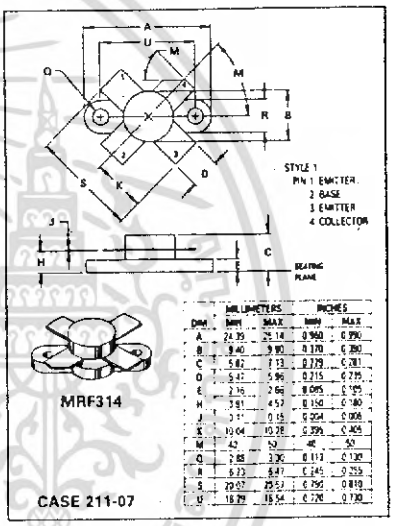
RF POWER TRANSISTORS

NPN SILICON

NPN SILICON RF POWER TRANSISTORS

. . . designed primarily for wideband large-signal driver and output amplifier stages in the 30 — 200 MHz frequency range.

- Guaranteed Performance at 150 MHz, 28 Vdc
  Output Power = 30 Watts
  Minimum Gain = 10 dB
- 100% Tested for Load Mismatch at All Phase Angles with 30:1 VSWR
- Gold Metallization System for High Reliability Applications



MRF314

CASE 211-07

DIM	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX	INCHES MIN	INCHES MAX
A	24.39	25.14	0.960	0.990
B	9.40	9.90	0.370	0.390
C	5.82	7.13	0.229	0.281
D	5.47	5.96	0.215	0.235
E	2.16	2.66	0.085	0.105
H	3.81	4.57	0.150	0.180
J	0.11	0.15	0.004	0.006
K	10.04	10.28	0.395	0.405
M	42°	52°	42°	52°
Q	2.85	3.30	0.112	0.130
R	5.33	5.97	0.245	0.255
S	22.02	23.52	0.795	0.819
U	18.29	19.54	0.720	0.730

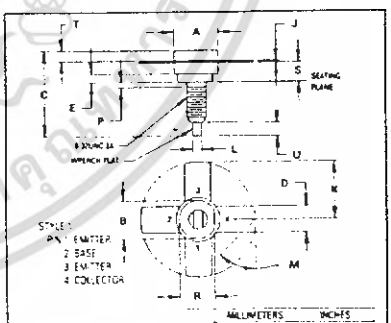
MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	35	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	65	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}	4.0	Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	3.4	Adc
Total Device Dissipation @ T_C = 25°C (1) Derate above 25°C	P_D	82 0.47	Watts W/°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	2.13	°C/W

(1) These devices are designed for RF operation. The total device dissipation rating applies only when the devices are operated as RF amplifiers.



MRF314A

CASE 145A-09

DIM	MILLIMETERS MIN	MILLIMETERS MAX	INCHES MIN	INCHES MAX
A	9.40	9.65	0.370	0.380
B	9.40	9.65	0.370	0.380
C	3.81	4.32	0.150	0.170
D	5.46	5.61	0.215	0.221
E	2.16	2.67	0.085	0.105
F	5	—	0.197	—
J	0.08	0.15	0.003	0.006
K	12.70	13.21	0.500	0.520
L	19.05	—	0.750	—
M	45° NOM		45° NOM	
P	—	1.27	—	0.050
R	7.62	8.13	0.300	0.320
S	4.32	4.83	0.170	0.190
U	17.65	18.16	0.695	0.715

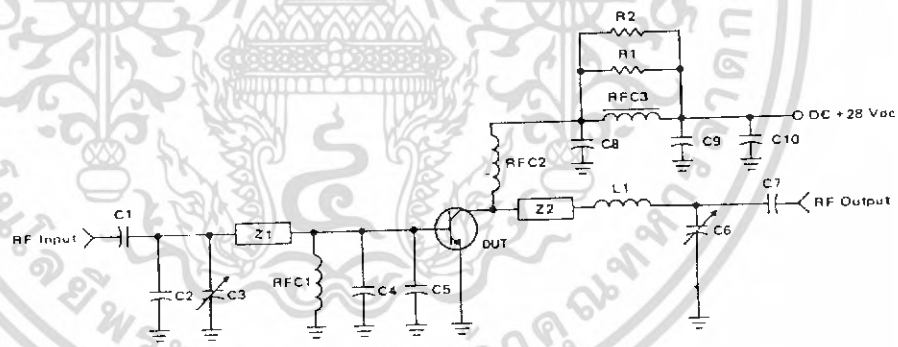
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_C = 25°C unless otherwise noted)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Breakdown Voltage (I_C = 30 mAdc, I_B = 0)	$V_{(BR)CEO}$	35	–	–	Vdc
Collector-Emitter Breakdown Voltage (I_C = 30 mAdc, V_{BE} = 0)	$V_{(BR)CES}$	65	–	–	Vdc
Collector-Base Breakdown Voltage (I_C = 30 mAdc, I_E = 0)	$V_{(BR)CBO}$	65	–	–	Vdc
Emitter-Base Breakdown Voltage (I_E = 3.0 mAdc, I_C = 0)	$V_{(BR)EBO}$	4.0	–	–	Vdc
Collector Cutoff Current (V_{CB} = 30 Vdc, I_E = 0)	I_{CBO}	–	–	3.0	mAdc
ON CHARACTERISTICS					
DC Current Gain (I_C = 1.5 Adc, V_{CE} = 5.0 Vdc)	h_{FE}	20	–	80	–
DYNAMIC CHARACTERISTICS					
Output Capacitance (V_{CB} = 30 Vdc, I_E = 0, f = 1.0 MHz)	C_{ob}	–	30	40	pF
FUNCTIONAL TESTS (Figure 1)					
Common-Emitter Amplifier Power Gain (V_{CC} = 28 Vdc, P_{out} = 30 W, f = 150 MHz)	G_{PE}	10	13.5	–	db
Collector Efficiency (V_{CC} = 28 Vdc, P_{out} = 30 W, f = 150 MHz)	η	50	–	–	%
Load Mismatch (V_{CC} = 28 Vdc, P_{out} = 30 W, f = 150 MHz, VSWR = 30:1 all phase angles	–	No Degration in Power Output			

FIGURE 1 – 150 MHz TEST CIRCUIT



C1, C7 – 18 pF, 100 mil ATC
C2 – 68 pF, 100 mil ATC
C3, C6 – Johanson #JMC 5501
C4 – 270 pF, 100 mil ATC
C5 – 240 pF, 100 mil ATC
C8, C9 – 100 pF Underwood
C10 – 1.0 µF Tantalum
L1 – 2 Turns, 2.5" #20 Wire, ID = 0.275"

R1, R2 – 10 Ω, 1.0 W
RFC1 – 15 µH Molded Coil
RFC2 – 2 Turns, 2.5" #20 Wire, ID = 0.2"
RFC3 – Ferroxcube VK200–19/4B
Z1 – Microstrip 0.168" W x 1.6" L
Z2 – Microstrip 0.168" W x 1.2" L
Board – Glass Teflon $\epsilon_R \approx 2.55$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL PERFORMANCE CURVES

FIGURE 2 – OUTPUT POWER versus INPUT POWER

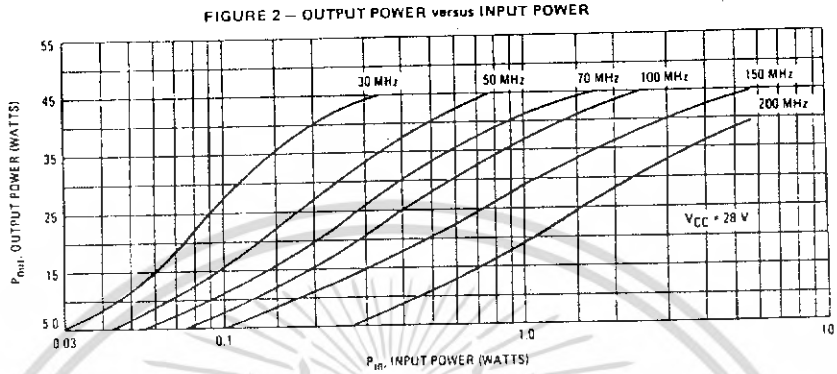


FIGURE 3 – OUTPUT POWER versus INPUT POWER

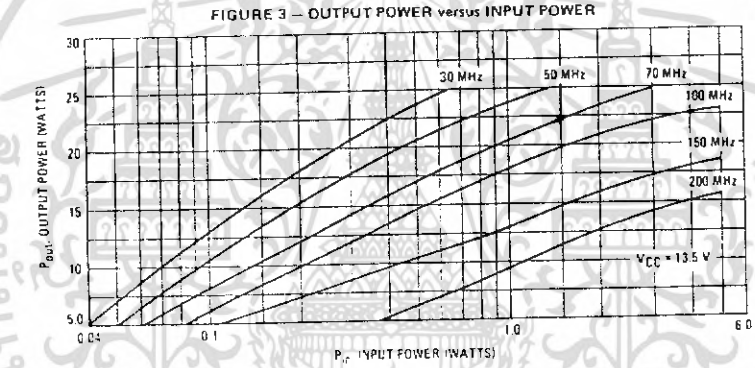


FIGURE 4 – POWER GAIN versus FREQUENCY

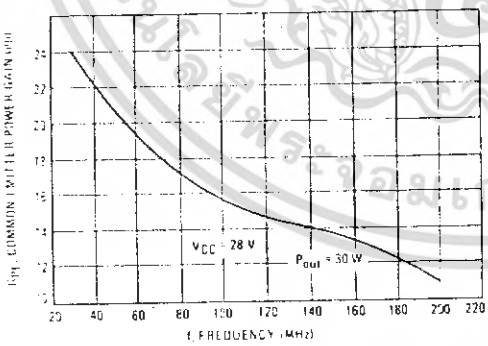
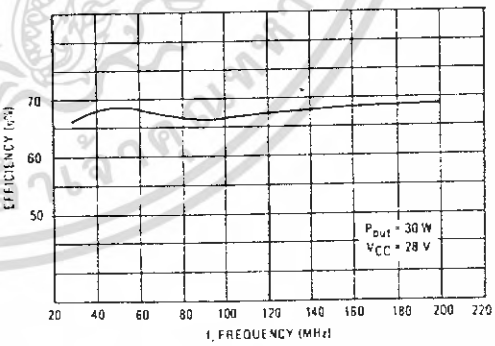


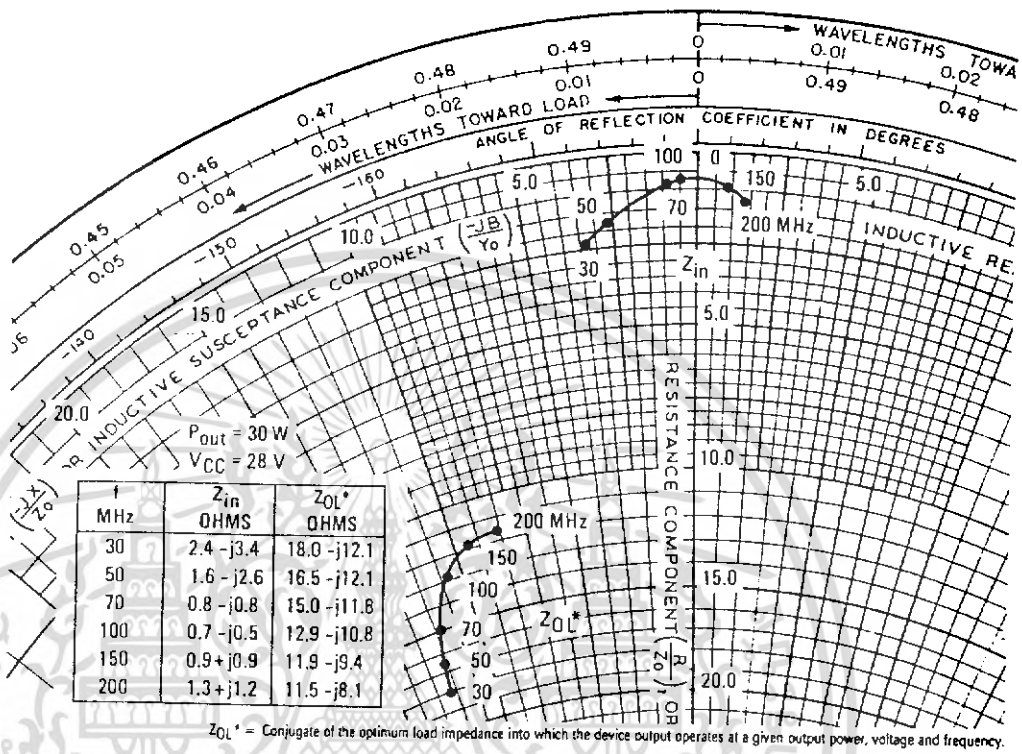
FIGURE 5 – EFFICIENCY (η%) versus FREQUENCY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2

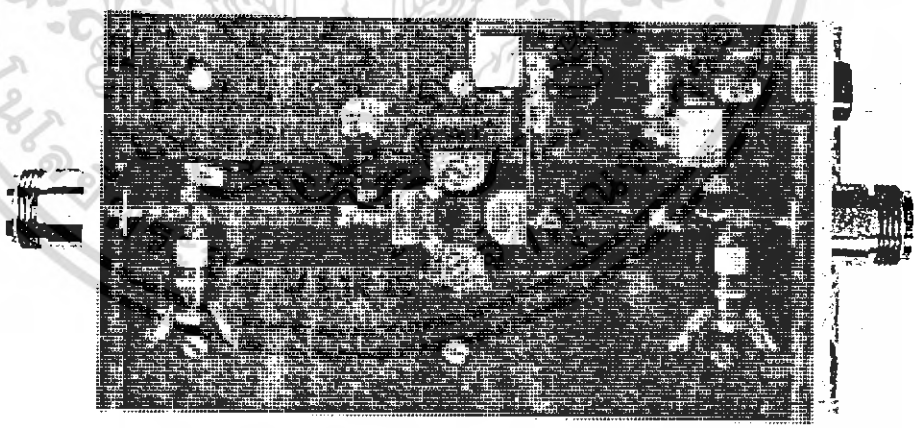
FIGURE 6 – SERIES EQUIVALENT INPUT/OUTPUT IMPEDANCE



f MHz	Z_{in} OHMS	Z_{OL}* OHMS
30	2.4 -j3.4	18.0 -j12.1
50	1.6 - j2.6	16.5 -j12.1
70	0.8 -j0.8	15.0 -j11.8
100	0.7 -j0.5	12.9 -j10.8
150	0.9+j0.9	11.9 -j9.4
200	1.3+j1.2	11.5 -j8.1

Z_{OL}* = Conjugate of the optimum load impedance into which the device output operates at a given output power, voltage and frequency.

FIGURE 7 – TEST FIXTURE



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้