ปริญญานิพนธ์

โปรแกรมสมิธชาร์ต

SMITH CHART PROGRAM

1. นายชัยเลิศ สุทธิสัตยาภรณ์
2. นายทวีศักดิ์ ชูรัตน์
3. นายเพชรรัตน์ ทัดสนธิ
4. นายอนุพงษ์ แผ่วรุณ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

ภาควิชา ครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะ ครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2537

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชา ครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะ ครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อปริญญานิพนธ์ โปรแกรมสมิธชาร์ต

smith chart program

ชื่อนักศึกษา

1. นายชัยเลิศ สุทธิสัตยาภรณ์
2. นายทวีศักดิ์ ชูรัตน์
3. นายเพชรรัตน์ ทัดสนธิ
4. นายอนุพงษ์ แผ่วรุณ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

1. อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม
2. อาจารย์วรวิทย์ สมหา
3. อาจารย์สันติ ตันตระกูล

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์	ลายมือ
อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม	
อาจารย์วรวิทย์ สมหา	
อาจารย์สันติ ตันตระกูล	
อาจารย์สุชิน อาจหาญ	
อาจารย์โกศล ตราชู	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันที่ 24 เดือน ธันวาคม พ.ศ.2537 เวลา 11.00 น.ถึง 12.30 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.301 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ลงนามหัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม.....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง โปรแกรมสมิธชาร์ต

SMITH CHART PROGRAM

ผู้จัดทำ

1. นายชัยเลิศ สุทธิสัตยาภรณ์
2. นายทวีศักดิ์ ชูรัตน์
3. นายเพชรรัตน์ ทัดสนธิ
4. นายอนุพงษ์ แผ่วรุณ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ลงนาม .....

(อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

ลงนาม .....

(อาจารย์วรวิทย์ สมหา)

ลงนาม .....

(อาจารย์สันติ ตันตระกูล)

หัวหน้าภาควิชา

ลงนาม .....

(ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา)

A021053

เลขหมู่ .....
เลขทะเบียน 1285
วัน เดือน ปี -3 พย 2538
021053

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง โปรแกรมสมิธชาร์ต

SMITH CHART PROGRAM

จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาการใช้งานสมิธชาร์ต
2. เพื่อศึกษาและออกแบบการเขียนโปรแกรมทางด้านกราฟฟิคของภาษาซี
3. เพื่อออกแบบโปรแกรมสื่อการเรียนการสอนสมิธชาร์ต
4. เพื่อเขียนโปรแกรมสื่อการเรียนการสอนสมิธชาร์ต ด้วยภาษาซี
5. เพื่อนำโปรแกรมไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบสายส่งสัญญาณด้วยสมิธชาร์ต

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถใช้งานสมิธชาร์ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. สามารถเรียนรู้และเข้าใจการเขียนโปรแกรมกราฟฟิคของภาษาซีได้
3. สามารถนำโปรแกรมไปใช้เป็นสื่อการเรียนการสอนได้
4. สามารถนำโปรแกรมสมิธชาร์ตที่เขียนขึ้นไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบสายส่งสัญญาณได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น
5. สามารถนำโปรแกรมสมิธชาร์ตไปใช้งานด้านอื่นๆ ได้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น
6. สามารถนำไปเป็นสื่อการเรียนการสอนที่ทันสมัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

โปรแกรมสมิธชาร์ต

SMITH CHART PROGRAM

นายชัยเลิศ สุทธิสัตยาภรณ์
นายทวีศักดิ์ ชูรัตน์
นายเพชรรัตน์ ทัดสนธิ
นายอนุพงษ์ แผ่วรุณ

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์วิสุทธิ์ อธิพรธรรม
อาจารย์วรวิทย์ สมหา
อาจารย์สันติ ตันตระกูล

ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอโปรแกรมสมิธชาร์ต ซึ่งใช้การออกแบบสายนำสัญญาณให้มีประสิทธิภาพสูง โดยโปรแกรมนี้ใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายนำสัญญาณ โดยผู้ใช้งานโปรแกรมจะเป็นผู้ป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นของสายนำสัญญาณ ผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถเลือกพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการทราบค่าได้จากตัวเลือกบนเมนู นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานในแบบธรรมดา เช่นเดียวกับการใช้งานสมิธชาร์ตบนกระดาษทั่วๆไปได้อีกด้วย

โปรแกรมสมิธชาร์ตนี้เขียนขึ้นด้วยภาษาซี โปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้ สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์และวาดรูปต่างๆ ได้อย่างถูกต้องตรงตามทฤษฎีทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

SMITH CHART PROGRAM

MR. CHAILEART SUTTISATTAYAPORN
MR. TAWEESAK CHOORAT
MR. PETCHARAT TATSONTI
MR. ANUPONG PEARWAROON

ADVISOR
MR. WISUIT ATIPORNTUM
MR. WORAWIT SOMHA
MR. SUNTI TUNTRAKOOL

1994

ABSTRACT

This thesis presents the smith chart program. It use to design the high efficiency transmission lines. This program is used to calculate parameters of tranmission lines. Program user will enter parameters of tranmission lines and choose unknown parameters from bottom on a menus. In addition, It can use in commonly smith chart paper style.

Smith chart program was written by C-Program. This program has ability to calculate parameters and plot a smith chart graph as well as the theory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการสมิธชาร์ต	2
2.1. ทำความรู้จักสมิธชาร์ต	2
2.1.1. เส้นกลางแนวนอนของสมิธชาร์ต	4
2.1.2. วงกลมแทนรีซิสแตนซ์และคอนดัคแตนซ์คงที่	5
2.1.3. เส้นโค้งแทนรีแอคแตนซ์และซัสเซฟแตนซ์คงที่	8
2.2. การนำสมิธชาร์ตไปใช้งานด้านไมโครเวฟ	10
2.2.1. การพล็อตอิมพิแดนซ์เชิงซ้อนบนสมิธชาร์ต	12
2.2.2. การหาค่า VSWR เมื่อทราบค่าโหลดที่ต่อปลายนำสัญญาณ	14
2.2.3. การหาค่าแอดมิดแตนซ์YL เมื่อทราบค่าอิมพิแดนซ์ ZL	16
2.2.4. การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณต่อปลายแบบปิดหรือแบบเปิด	19
2.2.5. การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่ระยะต่าง ๆ นับจากโหลด	25
2.2.6. การหาตำแหน่งสูงสุดและตำแหน่งต่ำสุดตำแหน่งแรกนับจากโหลด	29
2.2.7. การหาสตับอนุกรมแบบเดี่ยวเพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด	33
2.2.8. การหาสตับขนานแบบเดี่ยวเพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด	35
2.2.9. การหาสตับขนานแบบคู่เพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด	40
2.3. ความสูญเสียที่เกิดจากพลังงานย้อนกลับ (Return Power Loss)	50
2.4. ความสูญเสียกำลังงานจากการมิสแมทช (Mismatch power loss)	54
2.5. การใช้เรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์ในสมิธชาร์ต	55
2.5.1. การหาเรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์จากวงกลมสมิธชาร์ต	59
2.6. การสร้างอิมพิแดนซ์สมิธชาร์ต	60
2.7. แอดมิตแตนซ์สมิธชาร์ต	64
2.8. การวัดอิมพิแดนซ์โดยใช้สล็อตไลน์และสมิธชาร์ต	66
2.9. การแมตช์อิมพิแดนซ์โดยใช้ชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์	69
2.9.1. การแมตช์อิมพิแดนซ์โดยใช้สตับชุดเดียว	70
2.9.2. การแมตอิมพีแดนซ์โดยใช้สตับ 2 ชุด	71
2.9.3. การแมตช์อิมพิแดนซ์โดยใช้ชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์แบบลัมป์	71

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการสมิธชาร์ต	2
2.1. ทำความรู้จักสมิธชาร์ต	2
2.1.1. เส้นกลางแนวนอนของสมิธชาร์ต	4
2.1.2. วงกลมแทนรีซิสแตนซ์และคอนดัคแตนซ์คงที่	5
2.1.3. เส้นโค้งแทนรีแอคแตนซ์และซัสเซฟแตนซ์คงที่	8
2.2. การนำสมิธชาร์ตไปใช้งานด้านไมโครเวฟ	10
2.2.1. การพล็อตอิมพิแดนซ์เชิงซ้อนบนสมิธชาร์ต	12
2.2.2. การหาค่า VSWR เมื่อทราบค่าโหลดที่ต่อปลายนำสัญญาณ	14
2.2.3. การหาค่าแอดมิดแตนซ์YL เมื่อทราบค่าอิมพิแดนซ์ ZL	16
2.2.4. การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณต่อปลายแบบปิดหรือแบบเปิด	19
2.2.5. การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่ระยะต่าง ๆ นับจากโหลด	25
2.2.6. การหาตำแหน่งสูงสุดและตำแหน่งต่ำสุดตำแหน่งแรกนับจากโหลด	29
2.2.7. การหาสตับอนุกรมแบบเดี่ยวเพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด	33
2.2.8. การหาสตับขนานแบบเดี่ยวเพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด	35
2.2.9. การหาสตับขนานแบบคู่เพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด	40
2.3. ความสูญเสียที่เกิดจากพลังงานย้อนกลับ (Return Power Loss)	50
2.4. ความสูญเสียกำลังงานจากการมิสแมทช (Mismatch power loss)	54
2.5. การใช้เรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์ในสมิธชาร์ต	55
2.5.1. การหาเรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์จากวงกลมสมิธชาร์ต	59
2.6. การสร้างอิมพิแดนซ์สมิธชาร์ต	60
2.7. แอดมิตแตนซ์สมิธชาร์ต	64
2.8. การวัดอิมพิแดนซ์โดยใช้สล็อตไลน์และสมิธชาร์ต	66
2.9. การแมตช์อิมพิแดนซ์โดยใช้ชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์	69
2.9.1. การแมตช์อิมพิแดนซ์โดยใช้สตับชุดเดียว	70
2.9.2. การแมตอิมพีแดนซ์โดยใช้สตับ 2 ชุด	71
2.9.3. การแมตช์อิมพิแดนซ์โดยใช้ชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์แบบลัมป์	71

2.10. วงจรสมมูลย์แบบ 2 พอร์ตของสายนำสัญญาณ 74
2.11. คอมพิวเตอร์กราฟฟิค 76
2.11.1. ความหมายของกราฟฟิค 76
2.12. ฮาร์ดแวร์ 76
2.12.1. จอภาพ 77
2.12.2. อุปกรณ์การพิมพ์ภาพ (Hard-Copy Device) 86
2.13. ซอฟแวร์ 87
2.14. ระบบโคออร์ดิเนต 88
2.15. เส้นตรง 90
2.16. การสร้างเส้นตรงบนจอภาพ 91
บทที่ 3 การออกแบบ 94
3.1. การออกแบบและการทำงานของโปรแกรมในแต่ละส่วน 97
3.2. การสร้างรูปสมิธชาร์ต 98
3.3. การสร้างเมนู 100
3.4. การสร้างและเก็บรูปที่วาดบนสมิธชาร์ต 101
3.5. การแปลงค่าระหว่างคอมเพล็กซ์อิมพีแดนซ์กับค่าโคออร์ดิเนตของจอภาพ 101
3.6. การสร้างตัวอักษรภาษาไทย 102
3.7. การพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ 102
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง 103
4.1. การทดลอง 103
4.1.1. การทดลองการพล็อตอิมพีแดนซ์เชิงซ้อนบนสมิธชาร์ต 103
4.1.2. การหาอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่ระยะต่าง ๆ 106
4.1.3. การหาตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุด 110
4.1.4. การหาสตับอนุกรมแบบเดี่ยวเพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด 113
4.1.5. การหาสตับขนานแบบคู่เพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด 117
4.2. สรุปผลการทดลอง 124
บทที่ 5 บทวิจารณ์ สรุป และแนวทางพัฒนา 125
5.1. สรุป 125
5.2. ปัญหาในการเขียนโปรแกรม 125
5.3. แนวทางการพัฒนา 125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาคผนวก ก แผนผังการทำงานของโปรแกรม 127
ภาคผนวก ข โปรแกรมสมิธชาร์ตและคำอธิบาย 136
ภาคผนวก ค ตารางแอสกี้ และ ตารางค่าคีย์บอร์ด 270
บรรณานุกรม 282

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะของสมิธชาร์ต	3
รูปที่ 2.2 เส้นแนวนอนแสดงรีซิสแตนซ์และคอนดัคแตนซ์ค่าคงที่	4
รูปที่ 2.3 การพล็อตค่าที่นอร์มอลไลซ์แล้วบนสมิธชาร์ต	6
รูปที่ 2.4 วงกลม Constant R หรือ Constnt G	7
รูปที่ 2.5 วงกลม Constnt R ที่เท่ากับ 2.0	7
รูปที่ 2.6 เส้นโค้งแทนรีแอคแตนซ์คงที่	8
รูปที่ 2.7 (ก) แสดงสเกลรีแอคแตนซ์เป็นบวก	9
รูปที่ 2.7 (ข) แสดงสเกลรีแอคแตนซ์เป็นลบ	9
รูปที่ 2.8 ค่ารีแอคแตนซ์และซัสเซฟแตนซ์ที่พล็อต	11
รูปที่ 2.9 ตำแหน่งคอมเพล็กอิมพิแดนซ์บนสมิธชาร์ต	12
รูปที่ 2.10 ตำแหน่งโหลด ZL	13
รูปที่ 2.11 ตำแหน่ง VSWR ที่อ่านจากสมิธชาร์ต	14
รูปที่ 2.12 ตำแหน่งที่อ่านค่า VSWR บน สมิธชาร์ต	15
รูปที่ 2.13 การลากเส้นตรงจากจุดโคออร์ดิเนตผ่านจุด 1.0	16
รูปที่ 2.14 ค่าคอนดัคแตนซ์ และซัสเซฟแตนซ์	17
รูปที่ 2.15 ค่าแอดมิตแตนซ์ ในตัวอย่างที่ 6	18
รูปที่ 2.16 ตำแหน่งปลายปิดหรือเปิด	20
รูปที่ 2.17 สเกลความยาวคลื่นบนสมิธชาร์ต	21
รูปที่ 2.18 ระยะห่างจาก +jX ถึงปลายเปิด	22
รูปที่ 2.19 ค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ ในตัวอย่างที่ 7	23
รูปที่ 2.20 ความยาวคลื่นของสายปลายเปิดที่จะให้อินพุทอิมพิแดนซ์ตามที่ต้องการ	24
รูปที่ 2.21 การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของตัวอย่างที่ 8 บนสมิธชาร์ต	26
รูปที่ 2.22 วิธีหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายต่อโหลด	27
รูปที่ 2.23 การหาอินพุทอิมพิแดนซ์	28
รูปที่ 2.24 ผลที่ได้จากตัวอย่างที่ 9	29

รูปที่ 2.25 ตำแหน่งสูงสุดและตำแหน่งต่ำสุดของคลื่นนิ่ง 29
รูปที่ 2.26 การหาระยะห่างจากโหลดถึงจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดโดยใช้สมิธชาร์ต 30
รูปที่ 2.27 ตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุด 31
รูปที่ 2.28 ตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุดที่หาได้จากตัวอย่างที่ 10 33
รูปที่ 2.29 การต่อสตับเดี่ยวอนุกรมเข้ากับสายนำสัญญาณ 34
รูปที่ 2.30 จุดตัดกันของวงกลม 36
รูปที่ 2.31 ตำแหน่งจุดตัดทั้งสองบนสมิธชาร์ต 36
รูปที่ 2.32 สำหรับตัวอย่างที่ 11 39
รูปที่ 2.33 ระยะห่าง และความยาวของต่อสตับ 40
รูปที่ 2.34 (ก) การต่อแบบทูไวร์ดับเบิ้ลสตับจูนนิ่ง 41
รูปที่ 2.34 (ข) การต่อแบบโคแอกเชียลดับเบิ้ลสตับจูนนิ่ง 42
รูปที่ 2.35โหลดแอดมิตแตนซ์และวงกลม G/Yo 42
รูปที่ 2.36 ทำการหมุนวงกลม G/Yo ไปด้วยระยะเท่ากับ 3/8λ 43
รูปที่ 2.37 การตัดกันของวงกลม G/Yo และวงกลม R = 1.0 43
รูปที่ 2.38 การหมุนจากจุด A มายังจุด B ด้วยระยะ 3/8λ 45
รูปที่ 2.39 การใช้สมิธชาร์ตแก้ปัญหาในตัวอย่างที่ 12 47
รูปที่ 2.40 (ก.) การหาความยาวของสตับ 1 48
รูปที่ 2.40 (ข.) การหาความยาวของสตับ 2 49
รูปที่ 2.41 การต่อใช้งานจากผลที่หาได้ในตัวอย่างที่ 12 50
รูปที่ 2.42 ค่าของอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ 52
รูปที่ 2.43 ค่าสเกลแบบ (ก.),(ข.),(ค.),(ง.) และ (จ.) 58
รูปที่ 2.44 การใช้สมิธชาร์ตและเรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์ 60
รูปที่ 2.45 การแมปปิ้งระหว่างระนาบ Zin กับระนาบ 63
รูปที่ 2.46 การอ่านค่าอิมพิแดนซ์ที่ตำแหน่งต่างๆ จากสมิธชาร์ต 64
รูปที่ 2.47 การเปลี่ยนแปลงของ (z') ในกรณีที่สายนำสัญญาณมีการสูญเสีย 64
รูปที่ 2.48 แอดมิตแตนซ์สมิธชาร์ต 66
รูปที่ 2.49 การทรานสฟอร์มค่า Yin บนแอดมิตแตนซ์สมิธชาร์ต และการอ่านค่า VSWR 66
รูปที่ 2.50 สมิธชาร์ตแบบสายโคแอคเชี่ยลและแบบท่อนำคลื่น 67
รูปที่ 2.51 ผลการวัดคลื่นยืนโดยใช้สล็อตไลน์และการหาอิมพิแดนซ์โดยใช้สมิธชาร์ต 68
รูปที่ 2.52 การอ้างอิงจุดต่ำสุดของกรณีปลายสายลัดวงจร 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.53 การต่อสตับแบบอนุกรมและแบบขนาน 70
รูปที่ 2.54 การแมตช์อิมพิแดนซ์โดยใช้สตับชุดเดียว 70
รูปที่ 2.55 การใช้สตับ 2 ชุด ในการแมตช์อิมพิแดนซ์ 72
รูปที่ 2.56 การแมตช์อิมพิแดนซ์โดยใช้ชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์แบบลัมป์ 72
รูปที่ 2.57 วงจรสมมูลของสายนำสัญญาณ 74
รูปที่ 2.58 วงจรสมมูลของสายนำสัญญาณกรณีที่ $\ell << \lambda g/4$ 75
รูปที่ 2.59 การใช้ตัวอักษรมาประกอบกันเป็นรูปภาพ 77
รูปที่ 2.60 ความละเอียดของภาพ 78
รูปที่ 2.61 การเกิดอลิแอสซิ่ง (Aliasing) 79
รูปที่ 2.62 ตัวอย่างภาพจากจอภาพแบบเวคเตอร์ 80
รูปที่ 2.63 ดิสเพลย์ไฟล์ของระบบ 81
รูปที่ 2.64 การสร้างพื้นที่ที่ถูกระบายสีบนจอภาพแบบเวคเตอร์ 81
รูปที่ 2.65 ลักษณะของจอภาพแบบรังสีคาโถด 82
รูปที่ 2.66โครงสร้างของจอภาพแบบเวคเตอร์ 82
รูปที่ 2.67 ลักษณะของหลอดภาพ CRT 83
รูปที่ 2.68 ลักษณะของหลอดภาพของจอแบบ Flat CRT 84
รูปที่ 2.69 ลักษณะของจอ PDP 84
รูปที่ 2.70 โครงสร้างของจอ LCD 86
รูปที่ 2.71 ตำแหน่งของจุด (1,2) 88
รูปที่ 2.72 ตำแหน่งของจุดเริ่มต้นบนจอภาพบางชนิด 89
รูปที่ 2.73 ตำแหน่งของจุด (300,150) บนจอภาพที่มีความละเอียดต่างกัน 89
รูปที่ 2.74 ลักษณะของโคออร์ดิเนตของอุปกรณ์มาตรฐาน 90
รูปที่ 2.75 ตัวอย่างการกำหนดส่วนของเส้นตรง 91
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของโปรแกรม 96
รูปที่ 3.2 มุมเริ่มต้น และมุมสุดท้ายของส่วนของวงกลม 99
รูปที่ 3.3 การวาดส่วนของเส้นโค้ง โดยใช้ทฤษฎีตรีโกณมิติ 100
รูปที่ 3.4 การนำส่วนโค้งที่สร้าง มาทำการวาดลงในวงกลมสมิธชาร์ต 100
รูปที่ 4.1 ค่าจากการคำนวณตำแหน่งโหลด ZO 104
รูปที่ 4.2 ค่าจากการทดลองหาตำแหน่งโหลด ZO โดยใช้โปรแกรมทดลองโปรแกรม 105
รูปที่ 4.3 การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ที่ได้จากการคำนวณ 108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ที่ได้จากการทดลองโปรแกรม 109
รูปที่ 4.5 ตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดจากการคำนวณ 111
รูปที่ 4.6 ตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดจากการทดลองโปรแกรม 112
รูปที่ 4.7 ค่าระยะห่างและความยาวของสตับแบบเดี่ยวจากการคำนวณ 115
รูปที่ 4.8 ค่าระยะห่างและความยาวของสตับแบบเดี่ยวจากการทดลอง 116
รูปที่ 4.9 การใช้สมิธชาร์ตแก้ปัญหาในตัวอย่างที่ 5 118
รูปที่ 4.10 (ก.) การหาความยาวของสตับ 1 จากการคำนวณ 120
รูปที่ 4.10 (ข.) การหาความยาวของสตับ 2 จากการคำนวณ 121
รูปที่ 4.11 (ก.) การหาความยาวสตับ 1 ที่ได้จากการทดลอง 122
รูปที่ 4.11 (ข.) การหาความยาวสตับ 2 ที่ได้จากการทดลอง 123

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันระบบการรับส่งสัญญาณที่ใช้การติดต่อสื่อสารมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะว่าจะอำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลข่าวสารระหว่างกัน โดยในปัจจุบันระบบการติดต่อสื่อสารจะเป็นทั้งส่งภาพและเสียงไปเพียงอย่างเดียวหรือส่งทั้งสองอย่างไปพร้อมๆ กันไปยังผู้รับ การติดต่อสื่อสารที่ได้ผลจำเป็นต้องอาศัยสายนำสัญญาณที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหมาะสม เช่นค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ ของสายนำสัญญาณ ค่า VSWR ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับทั้งกระแส แรงดัน และกำลังงานพารามิเตอร์ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ สามารถหาได้จากสูตรการคำนวณ และวิธีการของสมิธชาร์ต หรือที่เรียกว่าโพล่าร์อิมพีแดนซ์ชาร์ต โปรแกรมสมิธชาร์ต์ที่ได้สร้างขึ้นมานี้เป็นโปรแกรมที่จำลองการใช้งานสมิธชาร์ตหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเป็น "การใช้สมิธชาร์ตในคอมพิวเตอร์" โปรแกรมสมิธชาร์ตที่สร้างขึ้นมานี้มีการทำงานที่เร็วกว่า และถูกต้องมากกว่าการใช้สมิธชาร์ตธรรมดามาก เพราะมีการแสดงผลที่ได้จากการคำนวณบนจอภาพโดยผู้ใช้เพียงป้อนค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นบางตัวลงไปในโปรแกรมนอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถพล็อตค่าต่างๆ ที่ผู้ใช้ต้องการทราบให้เห็นบนหน้าจออีกด้วย ส่วนการใช้งานก็จะไม่ยุ่งยากมากนักเพราะจะมีคำอธิบาย (help) ประกอบ เพียงแต่ผู้ใช้มีความรู้ทางด้านคอมพิวเตอร์และมีความรู้เรื่องเกี่ยวกับการใช้งานสมิธชาร์ตเพียงเล็กน้อย ก็สามารถที่จะทำให้ออกแบบสายนำสัญญาณเป็นไปอย่างรวดเร็วและถูกต้อง โปรแกรมสมิธชาร์ตนี้เขียนขึ้นด้วยโปรแกรมภาษซี (C langauge) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีหลักไวยากรณ์ และคำสั่งที่ง่ายต่อการศึกษา ดังนั้นการพัฒนาโปรแกรม เพื่อให้มีความสามารถเพิ่มขึ้นอีกหลายอย่างนั้นจะสามารถที่จะทำได้ง่ายเช่นกัน โดยที่แนวทางการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพต่อไปนั้น ผู้จัดทำได้เสนอแนะแนวทางพัฒนาไว้ให้แล้ว ซึ่งผู้ใช้สามารถที่จะศึกษาได้จาก บทที่ 5 สรุปและแนวทางพัฒนา โปรแกรมสมิธชาร์ตนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง สำหรับการสื่อสารทางด้านโทรคมนาคม ในเรื่องการออกแบบสายอากาศให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อการรับส่งสัญญาณที่มีความสะดวกและรวดเร็วถูกต้องรวมไปถึงการพัฒนาทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ที่ก้าวไปพร้อมกับโลกยุคโลกาภิวัฒน์ในปัจจุบัน ผู้จัดทำจึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโปรแกรมสมิธชาร์ตนี้จะสามารถอำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้ได้เป็นอย่างดีต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการสมิธชาร์ต

(Smith Chart)

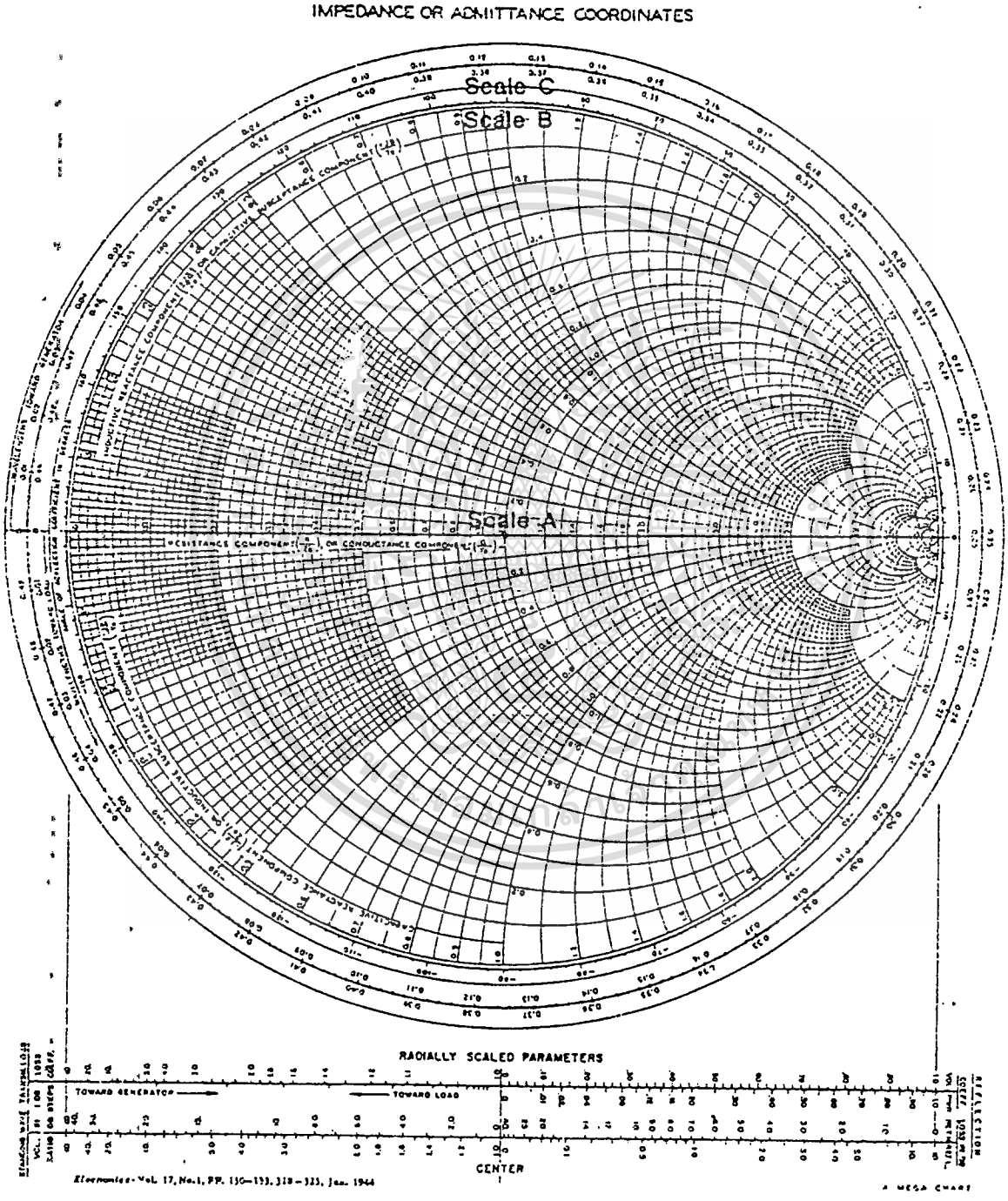
2.1 ทำความรู้จักสมิธชาร์ต

สมิธชาร์ตคือกราฟหรือชาร์ตชนิดหนึ่งซึ่งเป็นรูปวงกลมโดยที่ข้างใต้ชาร์ตรูปวงกลมมีสเกลบอกพารามิเตอร์ต่าง ๆ มีชื่อเรียกว่าเรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์หมายถึงค่าสเกลพารามิเตอร์แบ่งตามค่าระยะรัศมีชาร์ตวงกลม (Radially Scale Parameter) ซึ่งจะได้กล่าวถึงวิธีอ่านและการใช้งานในตอนท้ายและต่อไปนี้จะได้ทำการแจกแจงให้เห็นส่วนประกอบของสมิธชาร์ต โดยจะเริ่มจากเส้นกลางแนวนอนหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมนอกสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ก็คือสเกล A จะเป็นสเกลแสดงค่ารีซิสแตนซ์หรือคอนดัคแตนซ์ และมีส่วนที่เป็นวงกลมจะร่วมกันที่ด้านขวาปลายสุดของสเกล A มีชื่อเรียกว่า วงกลมแทนรีซิสแตนท์คงที่ (Constant R) หรือวงกลมแทนคอนดัคแตนซ์คงที่ (Constant G)สำหรับเส้นโคงที่เริ่มจากขอบวงกลม Constant R วงนอกสุดจะเข้ามาบรรจบที่ปลายขวาสุดของเส้นกลางแนวนอนมีชื่อเรียกว่าเส้นโค้งแทนรีแอคแตนซ์คงที่ หรือเส้นโค้งแทนซัสเซฟแตนซ์คงที่โดยมีค่าสเกลของเส้นโค้งบนขอบรอบวงกลมนอกสุดนั่นเอง แสดงตามรูปที่ 2.1 นั่นคือ สเกล B สเกลสุดท้ายตามรูปนั่นคือ สเกล C ซึ่งเป็นวงกลมล้อมรอบวงกลม Constant R บอกค่าความยาวคลื่นที่เทียบค่าหรือทำการนอร์มอลไลซ์แล้ว ส่วนความยาวตลอดของสายสัญญาณที่พิจารณาก็แสดงบนสมิตชาร์ตที่สเกล C โดยกำหนดให้ทิศทางเข้าสู่โหลดเป็นแบบทวนเข็มนาฬิกา ส่วนทิศทางเข้าสู่แหล่งกำเนิดหรือแหล่งจ่ายพลังงานมีทิศวนตามเข็มนาฬิกา และกำหนดให้หนึ่งรอบวงกลมสมิธชาร์ตใช้แทนครึ่งความยาวคลื่นของสายนำสัญญาณ (สายนำสัญญาณความยาวจริงเทียบเป็นความยาวคลื่นได้ตามจำนวนรอบของวงกลมสมิธชาร์ต)

การใช้งานสมิธชาร์ตค่าอินพุทที่จะนำมาพล็อตไม่ว่าจะเป็น รีซิสแตนซ์, คอนดัคแตนซ์ รีแอคแตนซ์หรือซัสเซฟแตนซ์ต้องทำการเทียบค่ากับคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์หรือค่าคาแรคเตอริสติกแอดมิตแตนซ์ของสายนำสัญญาณเสียก่อนเพราะว่าสเกล A และ สเกล B บนสมิธชาร์ตเป็นสเกลที่ทำการเทียบค่าไว้แล้ว โดยที่ สเกล A ทำการนอร์มอลไลซ์กับค่าคาแรคเตอริสติอิมพิแดนซ์ สเกล B ทำการนอร์มอลไลซ์กับค่าคาแรคเตอริสติกแอดมิตแตนซ์ สำหรับวงกลมนอกสุดที่แสดงสเกลของค่าความยาวคลื่น(สเกล C) ทำการนอร์มอลไลซ์กับค่าความยาวคลื่นไว้แล้วเช่นกันโดยในการใช้งานจะต้องนำความยาวของสายสัญญาณมาทำการนอร์มอลไลซ์กับค่าความยาวคลื่นด้วยซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

วิธีการสร้างชาร์ตแบบนี้จะทำให้เราสามารถที่จะใช้ชาร์ตได้กับสายนำสัญญาณทุกแบบและทุกความถี่ใช้งานโดยมีข้อจำกัดตรงที่ว่าสายนำสัญญาณจะต้องทราบค่าคาแรคเตอริสติกอิมพีแดนซ์แล้วเท่านั้น



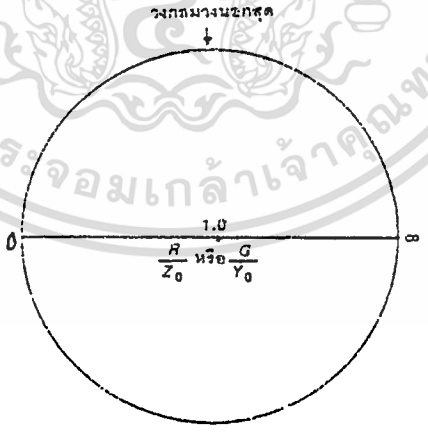
รูปที่ 2.1ลักษณะของสมิธชาร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 เส้นกลางแนวนอนของสมิธชาร์ต

เส้นกลางแนวนอนที่พาดผ่านจุดศูนย์กลางของสมิธชาร์ตใช้แทนส่วนที่เป็นรีซิสแตนซ์หรือคอนดัคแตนซ์ดังรูปที่ 2.2 โดยเริ่มจากซ้ายสุดเริ่มจากค่ารีซิสแตนซ์หรือค่าคอนดัคแตนซ์เป็น 0 สเกลจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดขวาสุดของเส้นนี้จะใช้แทนค่ารีซิสแตนซ์หรือค่าคอนดัคแตนซ์เป็นอนันต์ สเกลตามแนวเส้นกลางนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณ เพราะได้ทำการนอร์มอลไลซ์ค่าอินพุทก่อนจะนำมาลงสเกลไว้แล้วและค่ารีซิสแตนซ์จะทำการนอร์มอลไลซ์โดยการหารด้วยค่าคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ของสาย คือ Zo ก่อนจึงจะต้องนำไปพล็อตลงบนสเกลแนวนอน หรือ สเกล A ส่วนค่าคอนดัคแตนซ์จะถูกทำการนอร์มอลไลซ์โดยหารด้วยค่าคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ของสายคือ Yo จึงจะนำไปพล็อตลงบนสเกลได้เช่นกัน จุดศูนย์กลางของเส้นกลาง (เป็นจุดศนย์กลางของชาร์ตด้วย) นี้มีค่าเท่ากับ 1 นั่นก็หมายความว่า มีค่าของ R=ZoหรือG=Yoแสดงว่าถูกเทอร์มิเนตด้วยโหลดที่มีอิมพิแดนซ์เท่ากับค่าคาแรคเตอริสติก-อิมพิแดนซ์ของสายเอง ซึ่งมันจะไม่มีการสะท้อนกลับของพลังงานและควรทำความเข้าใจไว้ตรงนี้ว่าค่าคาแรคเตอริสติกแอดมิตแตนซ์ของสายเท่ากับส่วนกลับค่าคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ คือ

$$Zo = 1/Yo$$



รูปที่ 2.2 เส้นแนวนอนแสดงรีซิสแตนซ์และคอนดัคแตนซ์ค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 1 สมมติให้ค่าคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณมีค่าเท่ากับ 50 โอห์ม ให้หาตำแหน่งหรือพล็อตค่ารีซิสแตนซ์และคอนดัคแตนซ์ต่อไปนี้ ลงบนสมิธชาร์ต โดย R1= 50 โอห์ม,R2 = 25 โอห์ม,R3 = 150 โอห์ม,G1 = 0.04s และ G2 =0.006s

วิธีหา ขั้นแรก ทำการนอร์มอลไลซ์รีซิสทีฟโหลดโดยหารรีซิสแตนซ์ด้วยค่าคาแรคเตอริสติก-อิมพิแดนซ์ Zo

$$R1/Zo = 50/50 = 1$$

$$R2/Zo = 25/50 = 0.5$$

$$R3/Zo = 150/50 = 3$$

และ

$$Yo = 1/Zo$$

$$= 1/50$$

$$= 0.02s$$

ทำการนอร์มอลไลซ์คอนดัคแตนซ์โดยหารด้วยค่าคาแรคเตอริสติกแอดมิตแตนซ์ของสาย

$$G1/Yo = 0.04/0.02 = 2$$

$$G2/Yo = 0.006/0.02 = 0.3$$

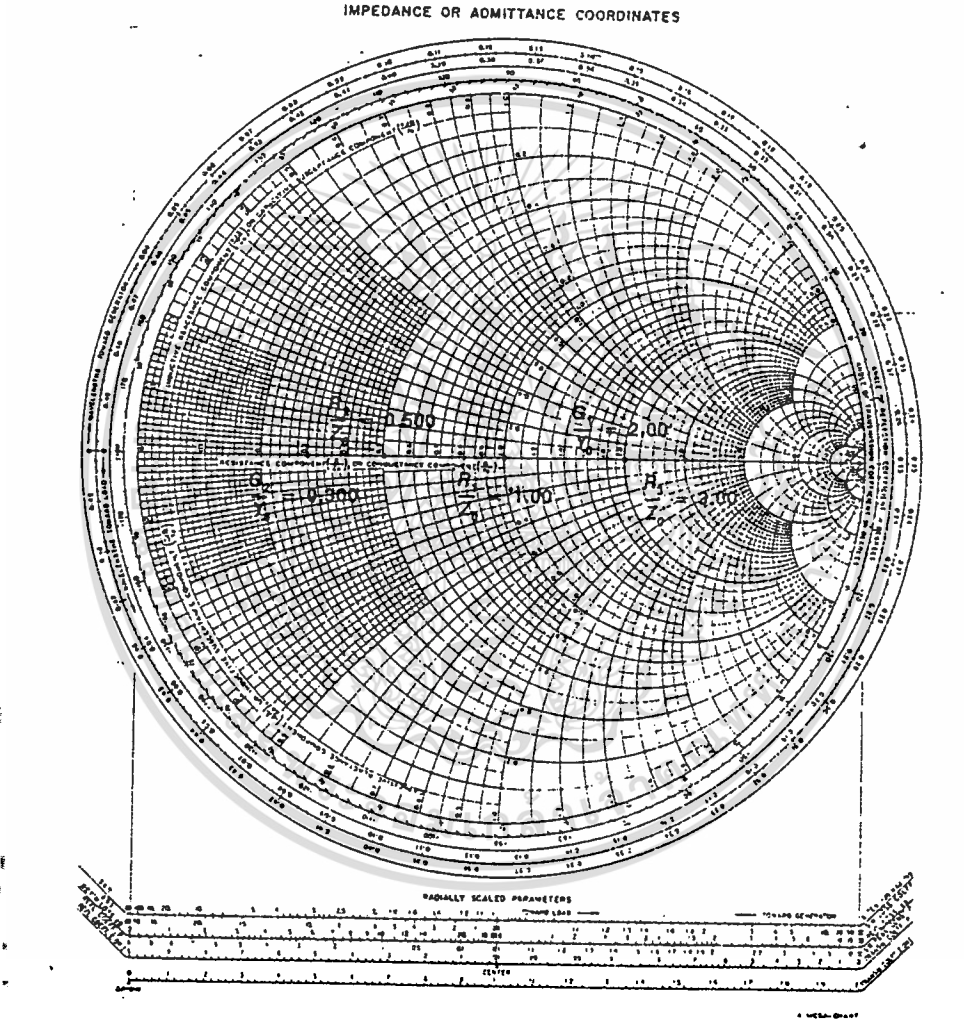
นำค่านอร์มอลไลซ์ทั้งรีซิสแตนซ์และคอนดัคแตนซ์ไปพล็อตบนสเกลของสมิธชาร์ต ดังรูปที่ 2.3

2.1.2 วงกลมแทนรีซิสแตนซ์และคอนดัคแตนซ์คงที่

วงกลมแทนรีซิสแตนซ์คงที่ หรือ Constant R ทุกวงจะมีจุดสัมผัสร่วมกันที่จุดขวาสุดของชาร์ต และทุกวงจะตัดกับเส้นกลางแนวนอน ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งวงกลม Constant R หรือ G บนสมิธชาร์ตนี้เริ่มโดยการนำค่ารีซิสแตนซ์หรือคอนดัคแตนซ์มาทำการหารด้วยคาแรคเตอริสติก-อิมพิแดนซ์ หรือแอดมิตแตนซ์ (Zo หรือ Yo) ค่าที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้วนี้จะนำไปพล็อตเป็นสเกลของเส้นกลางแนวนอน หลังจาก นั้น ทำการวาดวงกลมโดยให้มีรัศมีเป็นครึ่งหนึ่งของระยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากจุดที่พล็อตไปยังจุดขวาสุดของ เส้นสเกล และจุดกึ่งกลางวงกลมก็จะอยู่ระหว่างจุดทั้งสองนี้ซึ่งจะเป็นผลให้วงกลมที่ได้นี้มีจุดสัมผัสที่เส้นขวาสุดของเส้นสเกลมีชื่อเรียกว่าวงกลมแทนรีซิสแตนซ์และคอนดัคแตนซ์คงที่ (ทุกจุดบนวงกลมจะมีค่า R หรือ G เท่ากันตลอด)



รูปที่ 2.3 การพล็อตค่าที่นอร์มอลไลซ์แล้วบนสมิธชาร์ต

ตัวอย่างที่ 2 จงหาตำแหน่งของวงกลม Constant R ของสายนำสัญญาณซึ่งต่อปลายด้วยรีซิสแตนซ์ 100 โอห์ม โดยให้สายมีคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม

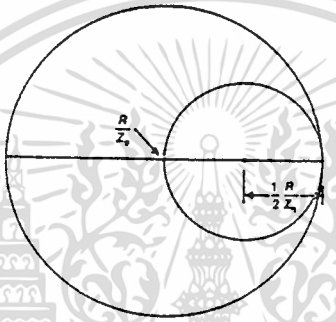
วิธีหา ขั้นแรก ทำการนอร์มอลไลซ์รีซิสแตนซ์ 100 โอห์ม โดยหารด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

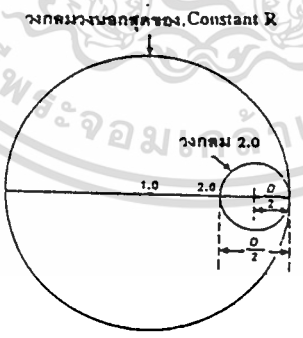
ค่าคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ จะได้เป็น

$$R/Zo = 100/50 = 2$$

พลือตจุด 2.0 บนสเกลเส้นกลางแนวนอน และใช้ระยะครึ่งหนึ่งจากจุด 2.0 ถึงจุดขวาสุดของเส้นสเกลเป็นรัศมีทำการวาดวงกลม ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 วงกลม Constant R หรือ Constnt G



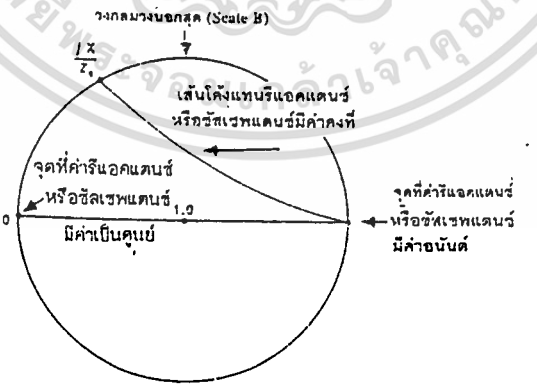
รูปที่2.5 วงกลม Constnt R ที่เท่ากับ 2.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 เส้นโค้งแทนรีแอคแตนซ์และซัสเซฟแตนซ์คงที่

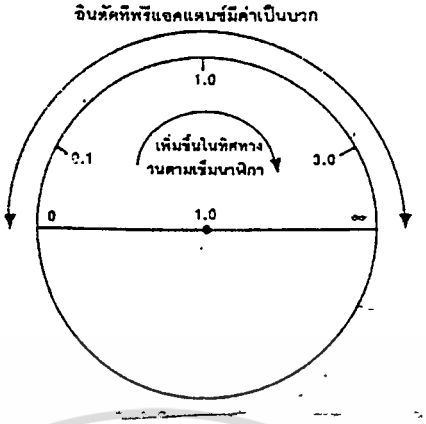
เส้นโค้งแทนรีแอคแตนซ์คงที่บนสมิธชาร์ตแสดงในรูปที่ 2.6 มีจุดเริ่มจากค่ารีแอคแตนซ์ที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้ว (โดยค่ารีแอคแตนซ์ที่หารด้วยคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์และค่าซัสเซฟแตนซ์หารด้วยค่าคาแรคเตอริสติกแอดมิตแตนซ์) ซึ่งพล็อตลงบนวงกลมวงนอกสุดของ Constant R (จะได้เป็นระยะ สเกล B ในรูปที่ 2.1) ลากเส้นโค้งมาจบลงที่ปลายขวาสุดของเส้นกลางสำหรับเส้นแสดงรีแอคแตนซ์หรือซัสเซฟแตนซ์เป็นศูนย์นั้น จะกลายเป็นจุดขวาสุดบนเส้นกลางแนวนอนค่ารีแอคแตนซ์และซัสเซฟแตนซ์ที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้ว จะนำมาพล็อตเป็นสเกลเทียบจากรูปที่ 2.1 ก็คือสเกล B และวงกลมนอกสุดคือวงกลมแทนรีซิสแตนซ์จะเป็นศูนย์ จะเป็นวงกลมที่มีเฉพาะค่ารีแอคแตนซ์เท่านั้น ถ้าพิจารณาจากจุดรีซิสแตนซ์เป็นศูนย์วนตามเข็มนาฬิกาไปตามเส้นรอบวงจนถึงจุดขวาสุดของเส้นกลาง ซึ่งรีซิสแตนซ์จะเป็นอนันต์จะได้ว่ารีซิส-แตนซ์มีค่าเป็นบวก และเพิ่มขึ้นจากศูนย์ถึงค่าอนันต์ แสดงให้เห็นตามรูปที่ 2.7 (ก.) และเมื่อวนทวนเข็มนาฬิกาจากจุดรีซิสแตนซ์เป็นศูนย์ จะพบว่ารีแอคแตนซ์มีค่าเป็นลบและจะเพิ่มจากศูนย์ถึงอนันต์เช่นกัน แสดงไว้ดังรูปที่ 2.7 (ข.)

สเกลครึ่งวงกลมส่วนบนของสมิธชาร์ตนั้นจะแทนที่ด้วยค่ารีแอคแตนซ์แบบตัวเหนี่ยวนำ +jXL/Zo หรือค่าซัสเซฟแตนซ์แบบตัวเก็บประจุ +jB/Yo สเกลครึ่งวงกลมส่วนล่างแทนค่า รีแอค-แตนซ์แบบตัวเก็บประจุ -jXc/Zo หรือค่าซัสเซฟแตนซ์แบบตัวเหนี่ยวนำ -jB/Yo

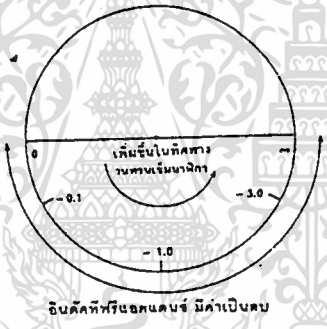


รูปที่ 2.6 เส้นโค้งแทนรีแอคแตนซ์คงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 (ก.) แสดงเสกลรีแอคแตนซ์เป็นบวก



(ข.) รีแอคแตนซ์เป็นลบ

ตัวอย่างที่ 3 จงพล็อตค่าต่างๆ ของรีแอคแตนซ์ดังต่อไปนี้ XL1 = j0.00 โอห์ม,XL2 =j35 โอห์ม, Xc1 = -j60 โอห์ม,XL2 = -j200 โอห์ม และ B = j0.0266s และเส้นโค้งแทนค่าเหล่านี้ด้วย กำหนดให้ค่าคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณเท่ากับ 75 โอห์ม

วิธีหา

$$XL1/Zo = j0/75 = j0$$

$$XL2/Zo = j35/75 = j0.467$$

ทำการนอร์มอลไลซ์โดยหารด้วย Zo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Xc1/Zo = -j60/75 = -j0.8$$

$$Xc2/Zo = -j200/75 = -j2.67$$

หาค่าคาแรคเตอริสติกแอดมิตแตนซ์ได้จาก

$$Yo = 1/Zo$$

$$= 1/75$$

$$= 0.0133s$$

ทำการนอร์มอลไลซ์โดยการหาร B ด้วย Yo

$$B/Yo = j0.0266/0.0113$$

$$= j2$$

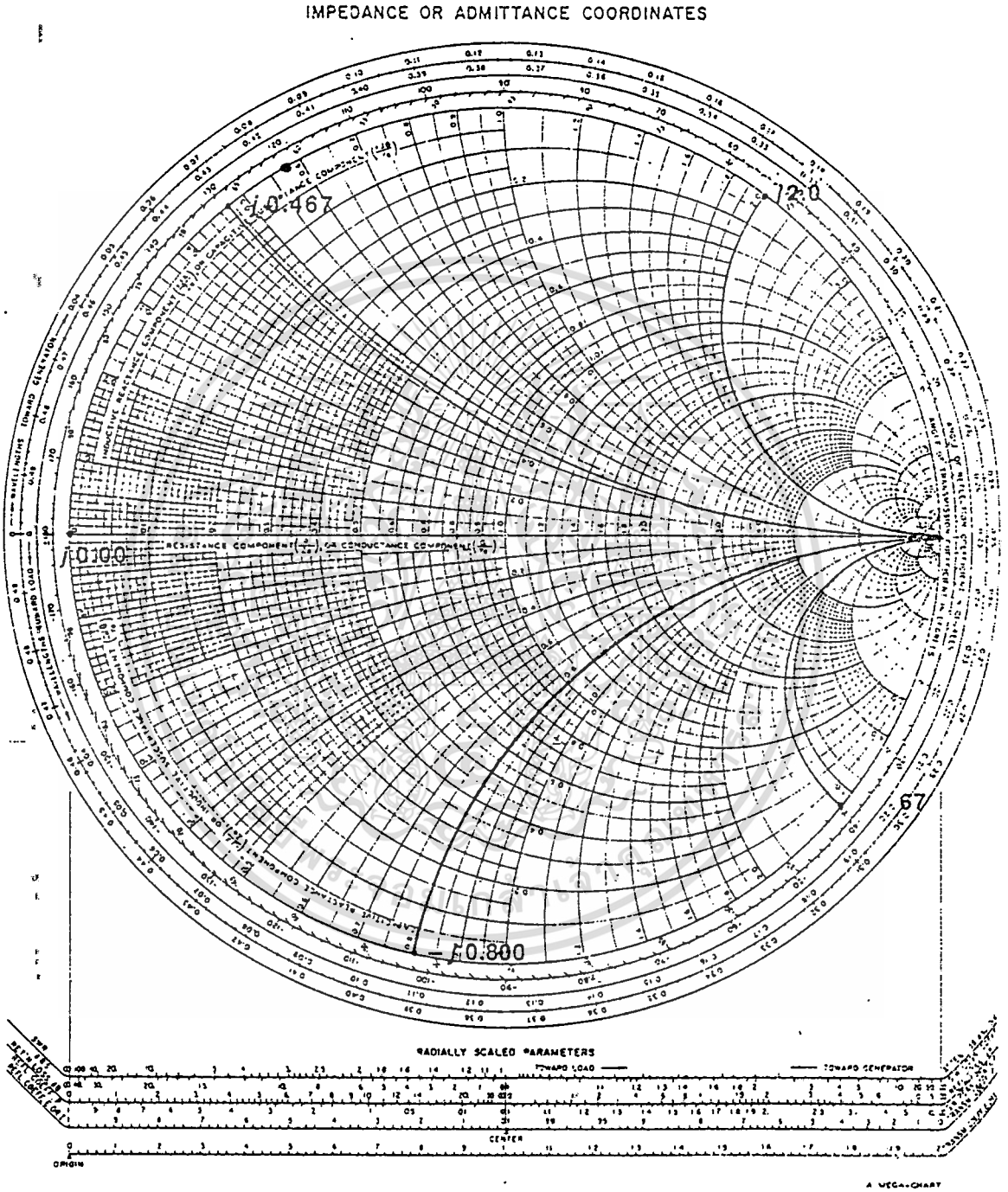
ค่าต่างๆที่ได้จากตัวอย่างนี้สามารถนำมาพล็อตได้ดังรูปที่ 2.8

2.2 การนำสมิธชาร์ตไปใช้งานด้านไมโครเวฟ

การนำสมิธชาร์ตไปใช้งานในด้านไมโครเวฟสามารถจำแนกการใช้ประโยชน์จากสมิธ-ชาร์ตได้ดังนี้

1. ใช้สำหรับพล็อตอิมพิแดนซ์เชิงซ้อน(Complex Impedance)บนสมิธชาร์ต
2. การหา VSWR เมื่อทราบค่าโหลดที่ต่อปลายนำสัญญาณ
3. การหาค่าแอดมิตแตนซ์เมื่อทราบค่าอิมพิแดนซ์
4. การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณต่อแบบปลายปิดหรือแบบปลายเปิดการหาอิน-พุทอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่ระยะต่างๆนับจากโหลด
5. การหาตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุดตำแหน่งแรกนับจากโหลด
6. การหาสตับอนุกรมแบบเดี่ยวเพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด
7. การหาสตับขนานแบบเดี่ยวเพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด
8. การหาสตับขนานแบบคู่เพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ค่ารีแอคแตนซ์และซัสเซฟแตนซ์ที่พล็อต

2.2.1 การพล็อตอิมพิแดนซ์เชิงซ้อนบนสมิธชาร์ต

เราสามารถหาตำแหน่งของคอมเพล็กอิมพิแดนซ์(Z)หรือคอมเพล็กแอดมิตแตนซ์(Y)บนสมิธชาร์ตได้โดยทำการนอร์มอลไลซ์ค่าจริงและค่าจินตภาพของค่าคอมเพล็กอิมพิแดนซ์ หรือค่าแอดมิตแตนซ์(แอดมิตแตนซ์นอร์มอลไลซ์ด้วย Yo) พล็อตค่าจริงที่ได้จากการนอร์มอลไลซ์แล้วบนสเกลแนวนอนกึ่งกลางวงกลมของสมิธชาร์ตจะได้วงกลมแทนค่ารีซิสแตนซ์คงที่นั้นด้วย จากนั้นทำการพล็อตค่าจินตภาพที่นอร์มอลไลซ์แล้วบนสเกลวงกลมวงนอกได้เส้นโค้งแทนค่ารีแอคแตนซ์คงที่เมื่อได้วงกลมและเส้นโค้งดังกล่าวแล้วจะเกิดจุดตัดกันขึ้นแทนค่าคอมเพล็กอิมพิแดนซ์ แสดงดังรูปที่ 2.9

รูปที่ 2.9 ตำแหน่งคอมเพล็กอิมพิแดนซ์บนสมิธชาร์ต

ตัวอย่างที่ 4ให้หาตำแหน่ง ZL=200+j300 บนสมิธชาร์ตเมื่อโหลดนี้ต่อกับสายนำสัญญาณ ที่มีคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์เท่ากับ 100 โอห์ม

วิธีทำ เริ่มแรกต้องทำการนอร์มอลไลซ์ค่าคอมเพล็กเสียก่อน

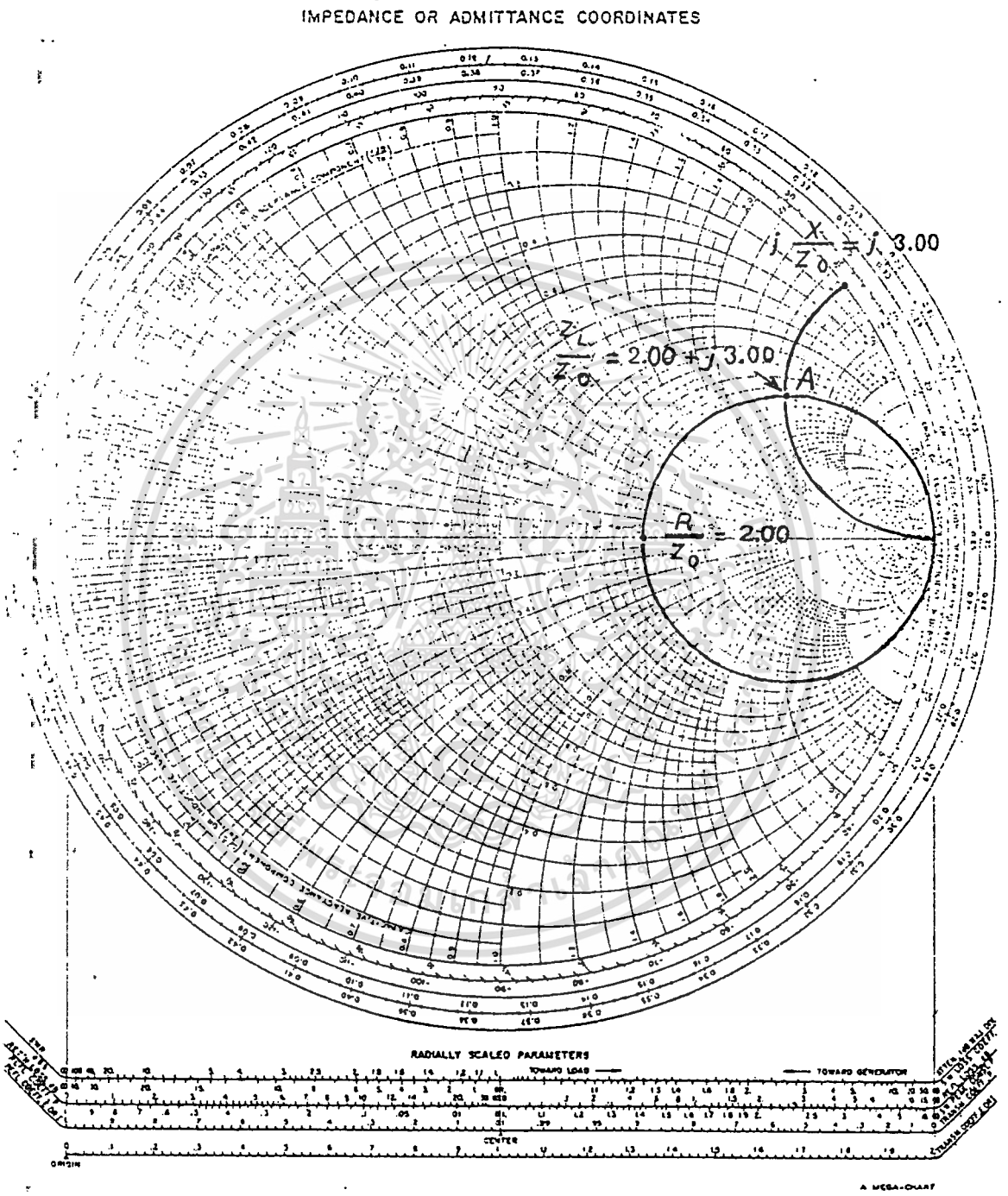
$$ZL = 200 + j300$$

$$ZL = 200/100 + j300/100$$

$$= 2.0 + j3.0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำค่าที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้วนี้ไปพล็อตหาจุดโดออดิเนตบนสมิธชาร์ต จุดตัดหรือจุดโดออดิเนตที่ได้ก็จะเป็นตำแหน่งของโหลด ZL ดังรูปที่ 2.10 ก็คือจุด A

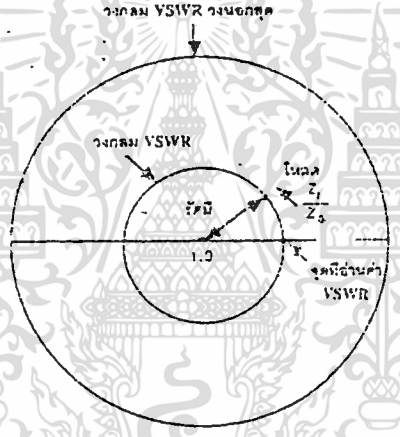


รูปที่ 2.10 ตำแหน่งโหลด ZL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การหาค่า VSWR เมื่อทราบค่าโหลดที่ต่อปลายนำสัญญาณ

การหาค่า VSWR เมื่อทราบค่าโหลด เริ่มจากการนอร์มอลไลซ์ ZL นำค่าที่ได้ไปพล็อตหาจุดโคออดิเนตบนสมิธชาร์ต (เป็นการหาตำแหน่งของคอมเพลกซ์อิมพิแดนซ์ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่แล้ว) ทำการวาดวงกลมโดยใช้จุดศูนย์กลางเป็นจุดบนแกนแนวนอนมีค่าเท่ากับ 1.0 ซึ่งเรียกว่าจุดศูนย์กลางหลักหรือ (prime center) และใช้ในระยะระหว่างจุด 1.0 กับจุดโคออดิเนตของการนอร์มอลไลซ์โหลด ZL/Zo จะเป็นรัศมีจุดตัดที่ระหว่างด้านขวามือของวงกลมกับแกน แนวนอนซึ่งบอกสเกลค่ารีซิสแตนซ์ที่ได้จะเป็นค่าของ VSWR แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงตำแหน่ง VSWR ที่อ่านจากสมิธชาร์ต

ตัวอย่างที่ 3.5 จงหาค่า VSWR ของสายนำสัญญาณที่มีค่าคาแรคเตอริสติคอิมพิแดนซ์ 75 โอห์ม และต่อปลายสายด้วยโหลด ZL=50-j100

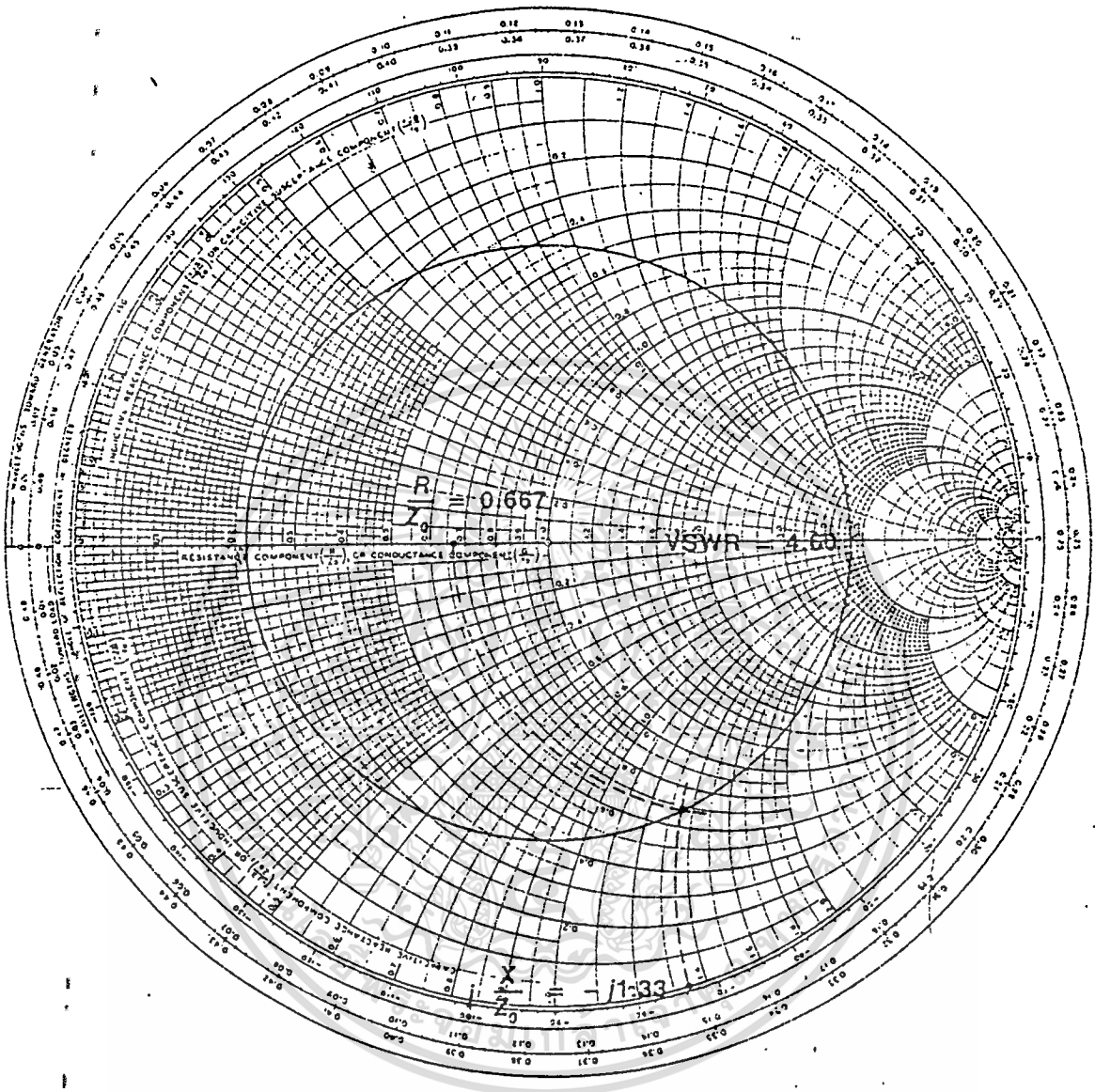
วิธีหา การหาโดยการใช้สมิธชาร์ตเริ่มจากหาค่านอร์มอลไลซ์

$$ZL = 50\text{-}j100$$

$$ZL/Zo = 50/70\text{-}j100/75$$

$$= 0.667\text{-}j1.33$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 2.12 ตำแหน่งที่อ่านค่า VSWR บนสมิธชาร์ต

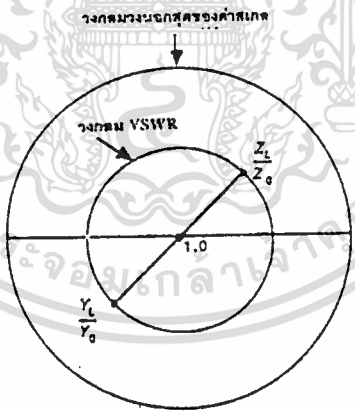
ห้องสมุด
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

นำค่า ZL ที่นอร์มอลไลซ์แล้วไปพล็อตลงบนสมิธชาร์ต โดยจะใช้จุดโคออดิเนตที่มีค่า Constant R = 0.667 และค่า Constant X = 1.33 (ครึ่งวงกลมล่างเนื่องจากว่าค่าอินตภาพเป็นลบดังนั้นตำแหน่งของโหลด ZL จะจำกัดขอบเขตอยู่เฉพาะบริเวณครึ่งวงกลมส่วนล่างของสมิธชาร์ต) ใช้จุด prime center เป็นจุดศูนย์กลางวงกลมรัศมี 0.667-j1.33 ซึ่งจะอ่านค่าที่สเกลรีซิสแตนซ์ทางด้าน R = ∞ หรือทางด้านขวานั่นเอง ก็จะได้ค่า VSWR ประมาณ 4.6

2.2.3 การหาค่าแอดมิดแตนซ์YL เมื่อทราบค่าอิมพิแดนซ์ ZL

การหาต่าแอดมิตแตนซ์ YL เมื่อทราบค่าอิมพิแดนซ์ ZL เริ่มได้โดยการทำการพล็อตนอร์มอลไลซ์ ZL บนสมิธชาร์ต และวาดวงกลม VSWR หลังจากนั้นจึงทำการลากเส้นตรงจากจุดโคออดิเนต ZL/Zo ผ่านจุด prime center หรือจุด 1.0 เลยไปให้ไปตัดวงกลม VSWR ด้านตรงข้ามดูตามรูปที่ 2.13 จุดตัดระหว่างเส้นตรงดังกล่าวกับวงกลม VSWR นั้นจะเป็นจุดโคออร์นดิเนตแสดงตำแหน่งของ YL/Yo ค่าแอดมิตแตนซ์ที่อ่านได้นั้นมาจากจุดตัดกันของวงกลม Constant R และเส้นโค้ง Constant X ซึ่งก็จะอ่านค่าโคออร์ดิเนตจากสเกล A และ B (ตามแสดงไว้ในรูป2.1) ตามลำดับจะได้ค่าคอนดัคแตนซ์และค่าซัสเซฟแตนซ์ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13

ตัวอย่างที่ 6 จงหาค่าของแอดมิตแตนซ์ YL โดยวิธีใช้สมิธชาร์ตเมื่อกำหนดให้มีค่าโหลดอิมพิแดนซ์ ZL = 50+j100 และมีค่าคาแรคเตอร์ริสติกส์อิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณ Zo = 50 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

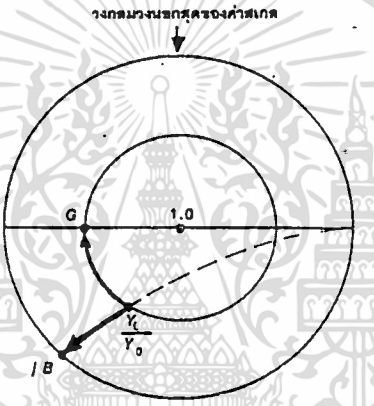
วิธีทำ จากสมิธชาร์ตทำตามขั้นตอนดังนี้ดูรูปที่ 2.15

หาค่านอร์มอลไลซ์ ZL

$$ZL = 50+j100$$

$$ZL/Zo = 50/50+j100/50$$

$$= 1.0+j2.0$$



รูปที่ 2.14

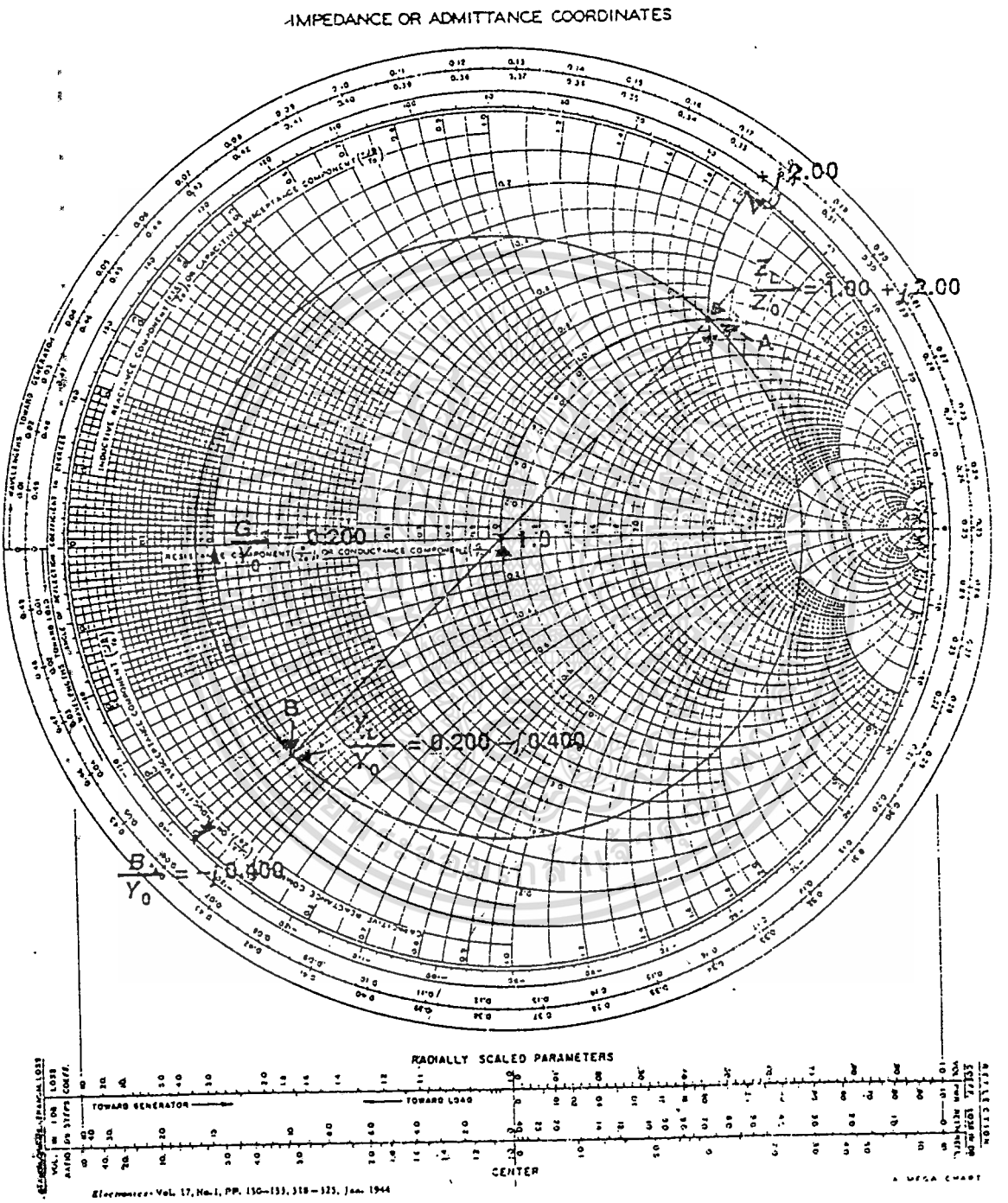
นำค่า ZL/Zo นี้ไปพล็อตบนสมิธชาร์ตหาจุดโดออดิเนตเป็นจุด A ทำการวาดวงกลม VSWR ผ่านจุด ZL/Zo โดยใช้จุด 1.0 เป็นศูนย์กลางของวงกลมนี้ ลากเส้นตรงจากจุด ZL/Zo ผ่านจุด 1.0 ไปตัดกับวงกลม VSWR ในส่วนครึ่งวงกลมล่างหรือด้านตรงข้ามนั่นเอง จะได้จุด B อ่านค่าคอนดัคแตนซ์และซัสเซฟแตนซ์ได้ตามรูปที่ 2.15 จะได้

$$G/Yo = 0.20$$

และ

$$B/Yo = 0.40$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


IMPEDANCE OR ADMITTANCE COORDINATES
+ j2.00
$\frac{Z_L}{Z_0} = 1.00 + j2.00$
A
$\frac{G}{Y_0} = 0.200$
1.0
B
$\frac{Z_L}{Y_0} = 0.200 - j0.400$
$\frac{B}{Y_0} = -j0.400$
RADIALLY SCALED PARAMETERS
TOWARD GENERATOR
TOWARD LOAD
CENTER

รูปที่ 2.15

และเพราะว่า

$$Yo = 1/Zo$$

$$= 1/50$$

$$= 0.02\ S$$

ดังนั้น

$$Y_L/Yo = 0.20-j0.40$$

$$= 0.02(0.20-j0.40)$$

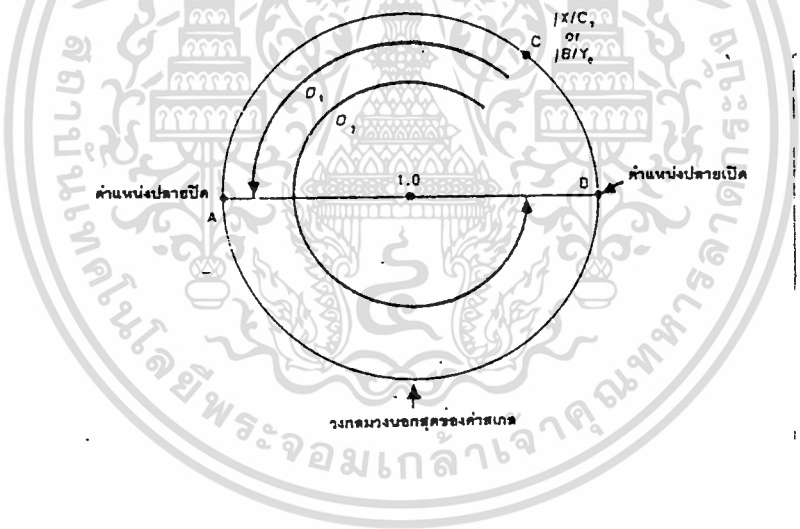
$$= 0.004-j0.008\ S$$

2.2.4 การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณต่อปลายแบบปิดหรือแบบเปิด

การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณซึ่งต่อปลายแบบปิดหรือแบบเปิดนั้นนิยมใช้แม่ทชิ่งกับสายนำสัญญาณกับโหลดหรือตัดความยาวสายเพื่อให้ได้รีแอคแตนซ์ตามที่ต้องการกำลังงานตกกระทบทั้งหมดจะสะท้อนกลับไปตามสายกรณีที่เทอร์มิเนตปลายสายแบบปิดหรือแบบเปิดโดยที่สัมประสิทธิ์สะท้อนกลับแรงดันมีค่าเป็น 1.0 และค่า VSWR เท่ากับอนันต์ ซึ่งก็คือวงกลมวงนอกหรือเป็นสเกล B ในรูปที่ 2.1 จะเป็นวงกลม VSWR สำหรับอินพุทอิมพิแดนซ์บนสายนำสัญญาณที่มีระยะต่างๆ จากโหลดซึ่งเป็นปลายปิดหรือปลายเปิด จะแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.17 2.18 ซึ่งก็จะพบว่าถ้าเทอร์มิเนตปลายสายแบบปิดหรือแบบเปิดค่าอินพุทอิมพิแดนซ์จะมีค่าเป็นศูนย์ อนันต์หรือเป็นค่ารีแอคตีฟในรูปแบบเหล่านี้เท่านั้นไม่สามารถเป็นค่าคอมเพลกซ์อิมพิแดนซ์ได้เลยเมื่อพิจารณาเทียบบนสมิธชาร์ตตำแหน่งปลายปิดหรือความต้านทานเป็นศูนย์ก็คือจุด A ด้านซ้ายของแกนกลางแนวนอน ส่วนตำแหน่งปลายเปิดหรือความต้านทานอนันต์จะเป็นจุด B ซึ่งอยู่ทางขวาของเส้นกลางแนวนอนดังรูปที่ 2.16

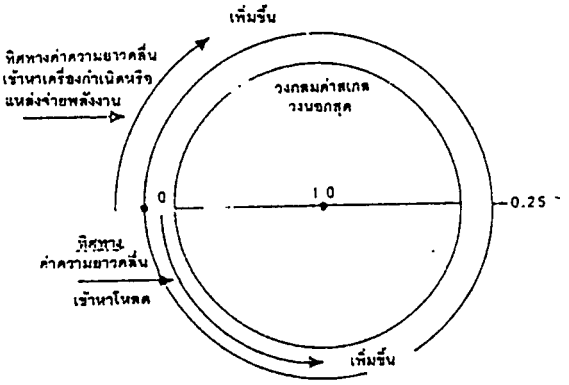
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า jX หรือ -jX มาใช้แมทช์โหลดเข้ากับสายนำสัญญาณที่ความถี่ใช้งานใด ๆ ก็ตาม เรามักจะใช้สมิธชาร์ตเพราะหาง่ายและสะดวกกว่าวิธีอื่น ค่ารีแอคแตนซ์หรือค่าซัสเซฟแตนซ์ที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้วจะนำมาทำการพล็อตบนสเกล B ที่วงกลมวงนอกของสมิธชาร์ตซึ่งได้แก่จุด C ในรูปที่ 2.16 และระยะทางจากจุด C ไปยังสายนำสัญญาณที่ได้เทอร์มิเนตปลายปิดและปลายเปิดจะเท่ากับ D1 และ D2 ตามลำดับโดยสามารถจะอ่านค่าระยะทางออกมาเป็นค่าความยาวคลื่นจากสเกลนอกสุดตามรูปที่ 2.17 สเกลนี้เป็นสเกลบอกค่าระยะทางในรูปของค่าความยาวคลื่นแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มหนึ่งที่มีค่าเพิ่มขึ้นในทิศทวนตามเข็มนาฬิกาอีกกลุ่มหนึ่งจะเพิ่มค่าในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาสเกลความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้นในทิศวนตามเข็มนาฬิกาใช้สำหรับการแก้ปัญหาที่มีการเคลื่อนที่ไปสู่เครื่องกำเนิดหรือที่เป็นแหล่งจ่ายกำลังงาน ส่วนสเกลความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้นในทิศทวนเข็มนาฬิกาใช้สำหรับเพื่อแก้ปัญหาที่มีการเคลื่อนที่ไปสู่โหลด



รูปที่ 2.16 ตำแหน่งปลายปิดหรือเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 สเกลความยาวคลื่นบนสมิธชาร์ต

จากปลายเปิดไปยังจุดบนสายนำสัญญาณซึ่งมีอินพุทอิมพิแดนซ์เป็น +jX เริ่มจากการนอร์มอลไลซ์ค่ารีแอคแตนซ์ด้วยการหารด้วยคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ ZO หลังจากนั้นนำไปพล็อตบนสเกลของวงกลมซึ่งระบุค่าของรีแอคแตนซ์ลากเส้นตรงจากจุดศูนย์กลางหลักหรือ prime center ผ่านจุด +jX (จุดA) ตามรูปที่ได้ไปตัดกับสเกลค่าความยาวคลื่น (สเกลบนวงกลมนอกสุด) แสดงดังรูปที่ 2.18 อ่านค่าระยะทางในรูปของความยาวคลื่นจากปลายปิดไปยังจุด A และสามารถแปลงให้เป็นหน่วย cm. เทียบกับความถี่ที่ใช้งานได้จาก

$$\lambda\ (cm) = 30/f(GHZ) \qquad (2.1)$$

เมื่อ

λ = ค่าความยาวคลื่น,cm.

f = ค่าความถี่, GHZ

พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้จากชาร์ตวงกลมสมิธชาร์ตนี้เป็นค่าสเกลที่ได้โดยที่การนอร์มอลไลซ์ก่อนจะมาลงสเกลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนั้นค่าความยาวคลื่นที่อ่านได้จากสเกลคูณด้วยค่าความยาวคลื่นของความถี่ใช้งานและจะเป็นค่าความยาวของสายที่จะนำไปใช้จริง ๆ เพื่อให้ได้ค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ตามที่ต้องการ

ตัวอย่างที่ 7 กำหนดให้สัญญาณมีค่าคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม นำมาใช้งานที่ความถี่ 7 GHzให้หาความยาวของสายที่ถูกเทอร์มิเนตปลายปิดที่ทำให้ค่าของอินพุทอิมพิแดนซ์เป็น j75

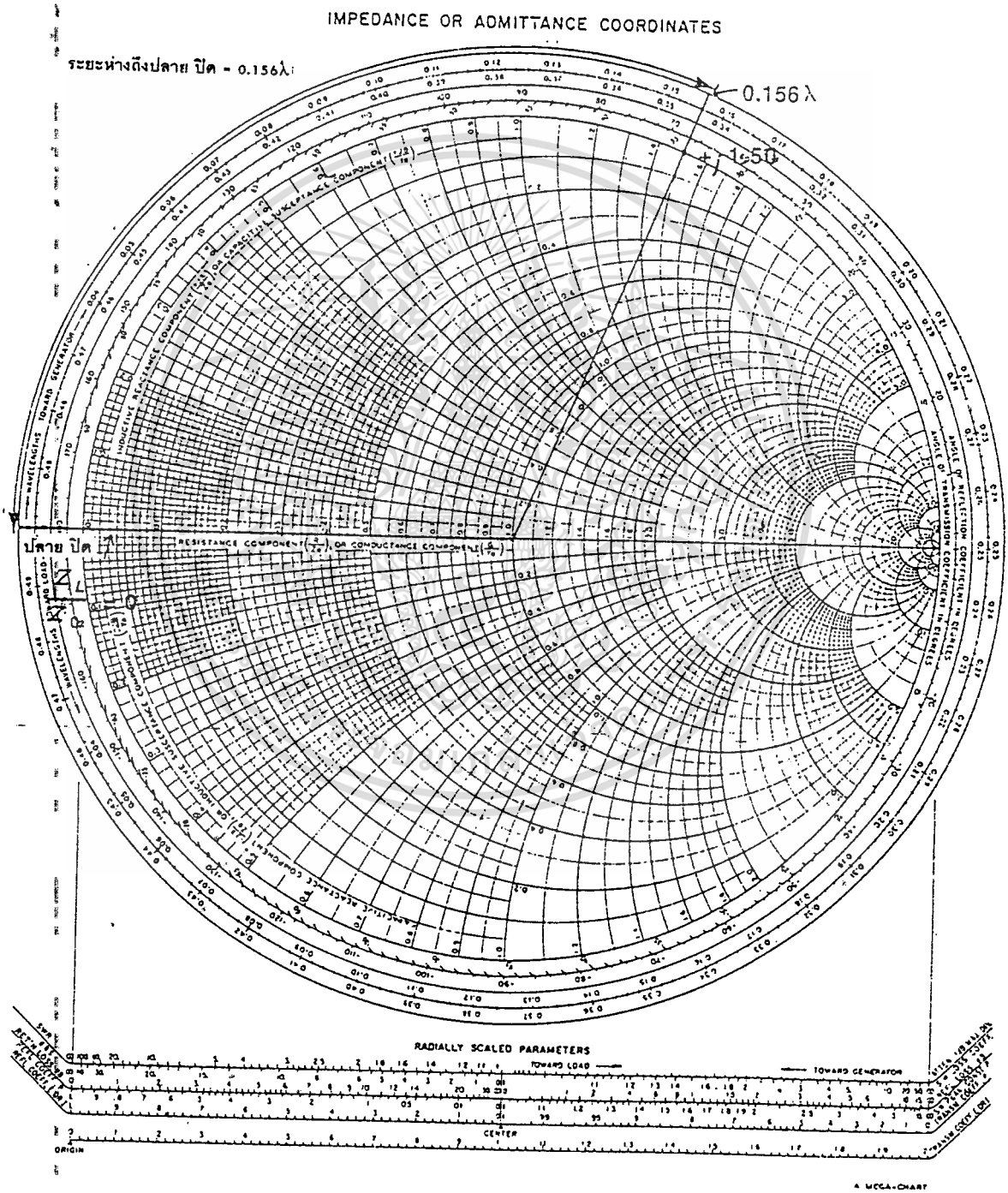
วิธีหา

1. ทำการนอร์มอลไลซ์อินพุทอิมพิแดนซ์

j75/50 = j1.50

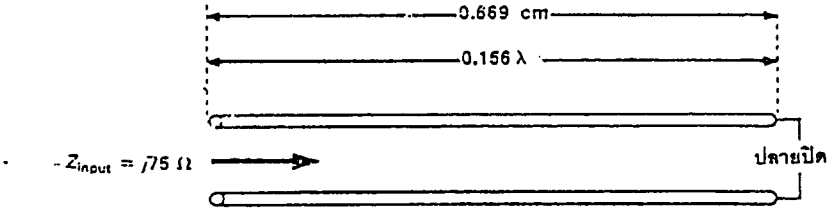
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความยาวสายนำสัญญาณจริงที่นำไปใช้งานได้แสดงไว้ตามรูปที่ 2.20 และต้องระลึกไว้เสมอว่าที่ค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ค่าหนึ่งนั้นความยาวของสายนำสัญญาณจริงที่จะทำให้ค่าอินพุทอิมพี-แดนซ์ที่กำหนดนั้นขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้งาน



รูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 2.20 ความยาวคลื่นของสายปลายปิดที่จะให้อินพุทอิมพิแดนซ์ตามที่ต้องการ

ตัวอย่างที่ 8 จงหาค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ที่มีระยะ 15 cm. จากปลายเปิดของสายนำสัญญาณซึ่งมีคา-แรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ 50 โอห์ม ในการใช้งานที่ความถี่ 400 MHZ

วิธีหา

จากสมการที่ 2.1 จะได้

$$\lambda\ (cm) = 30/f(GHZ)$$

$$= 30/0.4$$

$$= 75\ cm.$$

แปลงค่าระยะทางที่โจทย์กำหนดมาคือ 15 cm ให้อยู่ในรูปความยาวคลื่นจะได้

$$15/75 = 0.20\lambda$$

เพราะที่ว่าตำแหน่งโหลดเปิด หรือปลายเปิดอยู่ทางด้านขวาของเส้นแกนความต้านทานของสมิธชาร์ต ดังรูปที่ 2.21 จากจุดโหลดเปิดให้วนตามเข็มนาฬิกาเป็นระยะทางทั้งหมด 0.20λ (อ่านจากสเกลค่าความยาวคลื่นที่เข้าสู่เครื่องกำเนิด หรือ Wavelengh toward generater) ลากเส้นตรงจากจุดศูนย์กลางหลักไปถึงจุดที่พล็อตระยะทาง 0.20λ ดังกล่าวข้างต้นอ่านค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ได้จากจุด A ตามรูปที่ 2.21 ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$ZL/Zo = j0.325$$

$$ZL = ZO(-j0.325)$$

และเพราะว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ZO = 50\ \Omega$$

เพราะฉะนั้น

$$ZL = 50(-j0.325)$$

$$= -j16.3\ \Omega$$

สำหรับตำแหน่งของอินพุทอิมพิแดนซ์บนสเกลความยาวคลื่นของสมิธชาร์ต จะอ่านได้ตามทิศทางทวนตามเข็มนาฬิกา ซึ่งมีสเกลเพิ่มขึ้นดังนี้

0.250λ (อ่านได้ที่ตำแหน่งโหลดปิด)

$+0.200\lambda$ (ระยะห่างจากโหลดเปิด)

0.450λ (จะเป็นตำแหน่งของอินพุทอิมพิแดนซ์ที่ได้จากสมิธชาร์ต)

2.2.5 การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่ระยะต่าง ๆ นับจากโหลด

เราสามารถหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่ระยะใดๆ ก็ได้นับจากปลายสาย ซึ่งต่อไว้ด้วยคอมเพลกซ์โหลดโดยใช้สมิธชาร์ต ซึ่งง่ายกว่าวิธีการอื่นๆ เริ่มจากนำโหลดอิมพิแดนซ์ ZL มาทำการนอร์มอลไลซ์ ด้วยคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ใช้ค่าโหลดที่นอร์มอลไลซ์พล็อตลงบนสมิธชาร์ต จากนั้นทำการวาดวงกลม VSWR ของโหลดที่พล็อตลากเส้นตรงจากจุด 1.0 ผ่านจุดโคออดิเนตของการนอร์มอลไลซ์โหลดไปตัดสเกลความยาวคลื่นแสดงตามรูปที่ 2.22 คือจุด A เพื่อที่จะหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณบนสมิธชาร์ตที่ระยะต่างๆ นับจากโหลดให้วนทิศทางไปตามเข็มนาฬิกาด้วยระยะทางในหน่วยความยาวคลื่นที่ต้องการทราบค่าอินพุทอิมพิแดนซ์จากจุด A ไปยังจุดใหม่ที่ได้ซึ่งตามรูปที่ 2.22 ก็คือจุด B ลากเส้นตรงจากจุด 1.0 ไปยังจุด B จุดโคออดิเนตที่เส้นตรงนี้ตัดกับวงกลม VSWR จะเป็นจุดของอินพุทอิมพิแดนซ์ที่มีระยะตามต้องการนับจากโหลด

ตัวอย่างที่ 9 จงหาอินพุทอิมพิแดนซ์ที่ระยะห่าง 0.625λ จากโหลดของสายนำสัญญาณซึ่งมีค่าเป็น ZL = 75-j25 โอห์ม โดยกำหนดให้สายนำสัญญาณจะมีค่าคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม

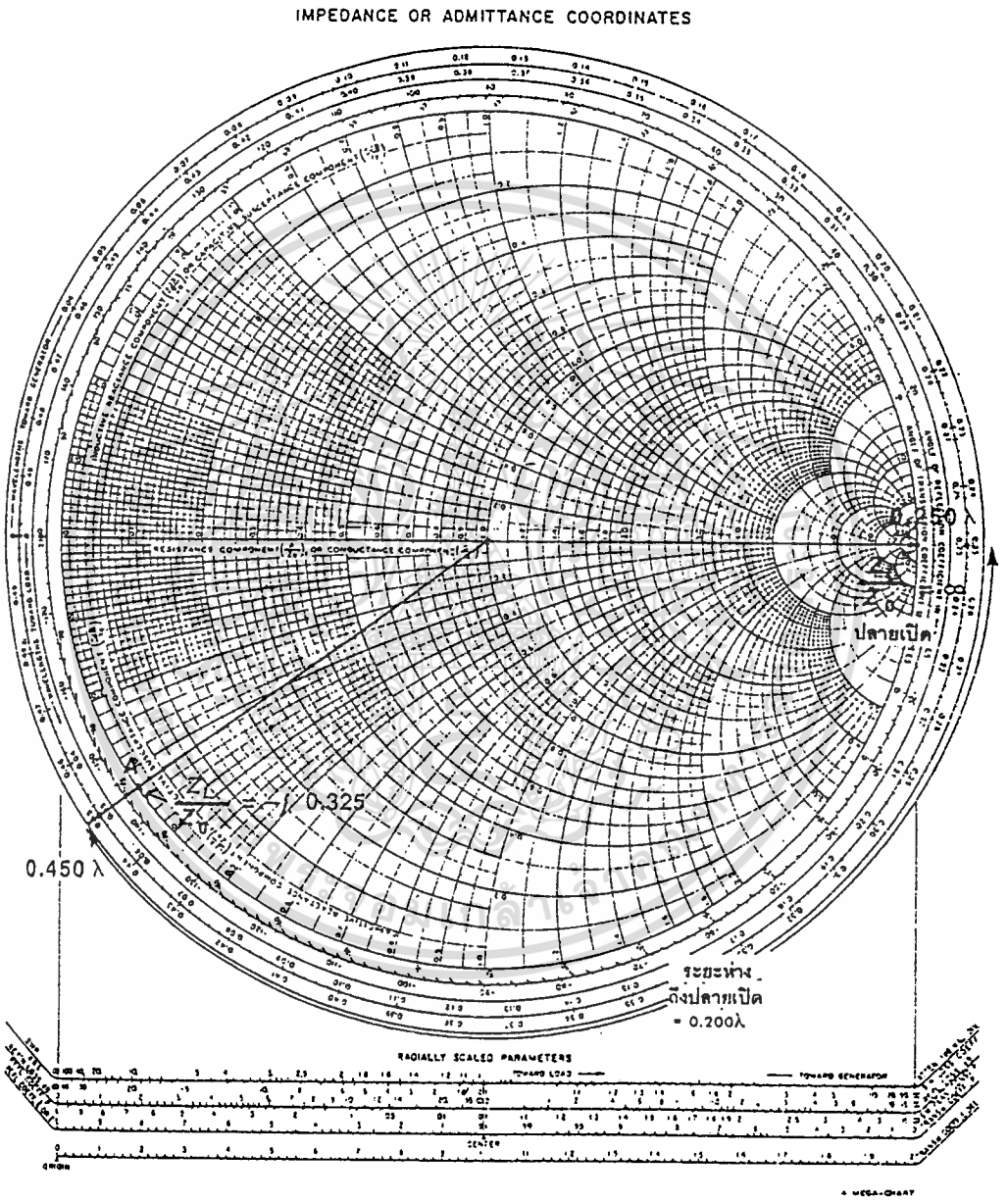
วิธีหา

1. หาค่านอร์มอลไลซ์ ZL

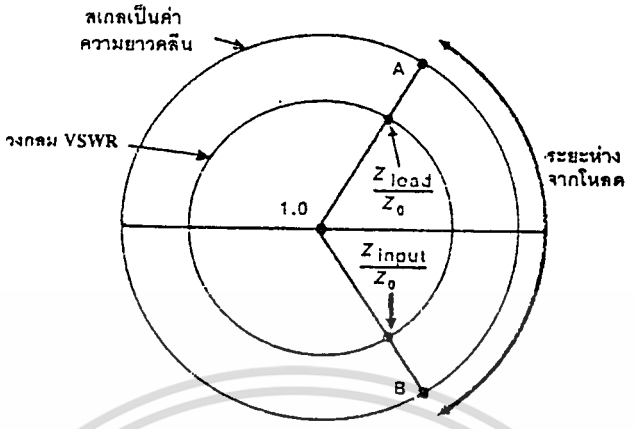
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$ZL/Zo = 75/50-j25/50$

$= 1.5-j0.5$



รูปที่ 2.21 การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของตัวอย่างที่ 8 บนสมิธชาร์ต



รูปที่ 2.22 วิธีหาอินพุทอิมพิแดนซ์ของสายต่อโหลด

2. พล็อตค่านอร์มอลไลซ์โหลด ZL ที่ได้จากข้อ 1 บนสมิธชาร์ตใช้ชื่อว่าจุด A ตามรูปที่ 2.23 ลากเส้นตรงจากจุด 1.0 ผ่าน A ไปจนถึงสเกลความยาวคลื่น (ซึ่งคือสเกล Cซึ่งได้อธิบายตามรูปที่ 2.1) อ่านค่าความยาวคลื่นได้เท่ากับ 0.296λ

3. จากนั้นวาดวงกลม VSWR เพื่อใช้ในการหาค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ ที่ระยะ 0.625λ เพราะว่าระยะ 0.625λ นั้น จะเกินระยะทาง 1 รอบซึ่งจะเท่ากับ 0.500λ ฉะนั้นระยะห่างที่เหลือบนสมิธชาร์ตหาได้ดังนี้

0.625λ (ระยะห่างจากโหลดไปยังอินพุท)

-0.500λ (ระยะทาง 1 รอบของวงกลมสมิธชาร์ต)

0.125λ (ระยะห่างที่เหลือ)

4. จากตำแหน่งของโหลดบนสมิธชาร์ตที่ค่าความยาวคลื่น 0.296λ ให้วนตามเข็มนาฬิกาเป็นระยะทาง 0.125λ ได้ตำแหน่งอินพุทที่ระยะห่าง 0.625λ นับจากโหลด

0.296 λ (ตำแหน่งของโหลด)

+0.125 λ (ระยะห่างที่เหลือ)

0.421 λ

5. ลากเส้นตรงจากจุด 1.0 ไปตัดวงกลม VSWR ไปยังตำแหน่ง 0.421λ ที่ได้จากข้อที่ 4 จุดตัดของเส้นตรงบนวงกลม VSWR ซึ่งจะได้แก่จุด B ก็จะเป็นค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ตามที่ต้องการ

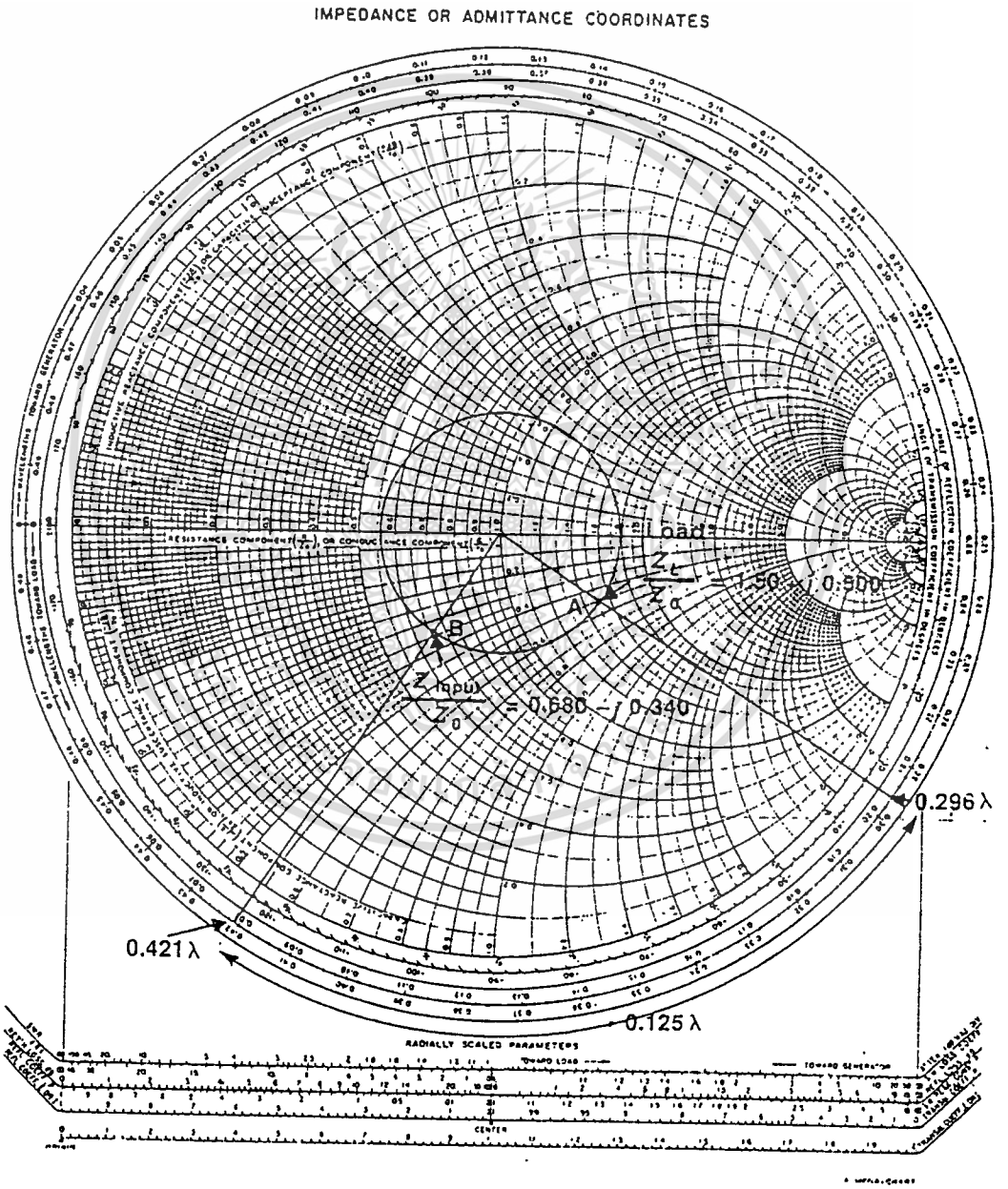
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ZL/Zo = 0.680-j0.340$$

และเพราะว่า ZO = 50 โอห์ม ดังนั้นค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ที่ระยะห่าง 0.625 จากโหลดจะได้เป็น

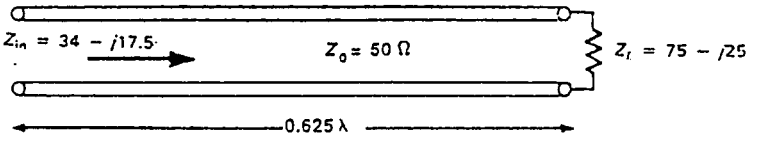
$$ZL = ZO(0.680-j0.340)$$

$$= 50(0.680-j3040)$$



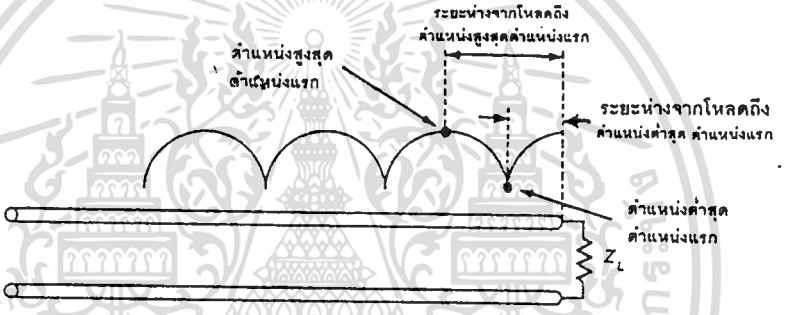
รูปที่ 2.23 การหาอินพุทอิมพิแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 ผลที่ได้จากตัวอย่างที่ 9

2.2.6 การหาตำแหน่งสูงสุดและตำแหน่งต่ำสุดตำแหน่งแรกนับจากโหลด



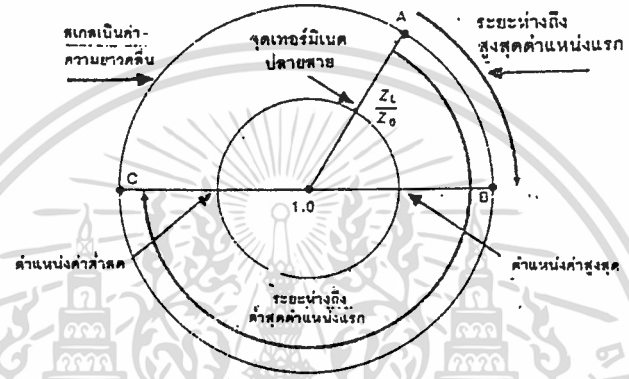
รูปที่ 2.25 ตำแหน่งสูงสุดและตำแหน่งต่ำสุดของคลื่นนิ่ง

ที่ผ่านมาเราได้ทราบแล้วว่าคลื่นนิ่งของแรงดันและกระแสที่จะเกิดขึ้นบนสายนำสัญญาณที่ต่อปลายด้วยอิมพิแดนซ์ที่ไม่ใช่คาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณนั้นโดยจะปรากฏตำแหน่งสูงสุด และต่ำสุดของคลื่นสัญญาณดังรูปที่ 2.25 เราสามารถหาระยะทางจากโหลดไปยังจุดสูงสุดและต่ำสุด และตำแหน่งแรกบนสายนำสัญญาณจากสมิธชาร์ต โดยใช้หลักที่ว่าตำแหน่งของคลื่นแรงดันสูงสุดเป็นตำแหน่งที่มีความต้านทานสูงที่สุดและตำแหน่งของคลื่นแรงดันต่ำสุดจะเกิด ณ จุดที่มีความต้านทานต่ำสุด ดังนั้นจุดที่มีความต้านทานมากที่สุดบนสายนำสัญญาณจะเป็นจุดขวาสุดของสเกลแนวนอนและจุดที่มีความต้านทานน้อยที่สุดบนสายนำสัญญาณก็จะเป็นจุดซ้ายสุดของสเกลแนวนอนด้วยเช่นกันเป็นไปตามรูปที่ 2.26

ระยะห่างระหว่างตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุดตำแหน่งแรกเทียบกับโหลดของสายนำสัญญาณเริ่มจากพล็อตตำแหน่งโหลดที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้วบนสมิธชาร์ตลากเส้นตรงจากจุด 1.0 หรือจุดศูนย์กลางหลักผ่านจุดโหลดที่พล็อตไปตัดสเกล C ให้เป็นจุด A ตามรูป 2.26 วนตามเข็มนาฬิกาถึงจุดB (ทิศพุ่งเข้าหาเครื่องกำเนิดหรือแหล่งจ่ายพลังงาน) ก็จะได้ตำแหน่งสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งแรก และระยะที่อ่านจากสเกล C ระหว่างจุด A และจุด B เป็นระยะห่างจากโหลดถึงจุดที่มีค่าสูงสุดของคลื่นนิ่งที่เกิดบนสายนำสัญญาณและระยะระหว่างจุด A จุด C บนสเกล C จะเป็นระยะห่างจากโหลดถึงจุดที่มีค่าต่ำสุดของคลื่นนิ่งตำแหน่งแรกเช่นกัน โดยตำแหน่งสูงสุดของคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณจะเกิดขึ้นทุก ๆ ระยะครึ่งความยาวคลื่น



รูปที่ 2.26 การหาระยะห่างจากโหลดถึงจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดโดยใช้สมิธชาร์ต

ตัวอย่างที่ 10 จงหาระยะห่างที่เกิดจากคลื่นนิ่งแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ตำแหน่งแรกบนสายนำสัญญาณที่ต่อปลายด้วยโหลด ZL=25+j35 เมื่อกำหนดความถี่ของสัญญาณค่าเท่ากับ 1.75 GHz และค่าแรคเตอริสติกอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณเท่ากับ 50 โอห์ม

วิธีหา

1. ทำการนอร์มอลไลซ์ ZL

$$ZL = 25+j35$$

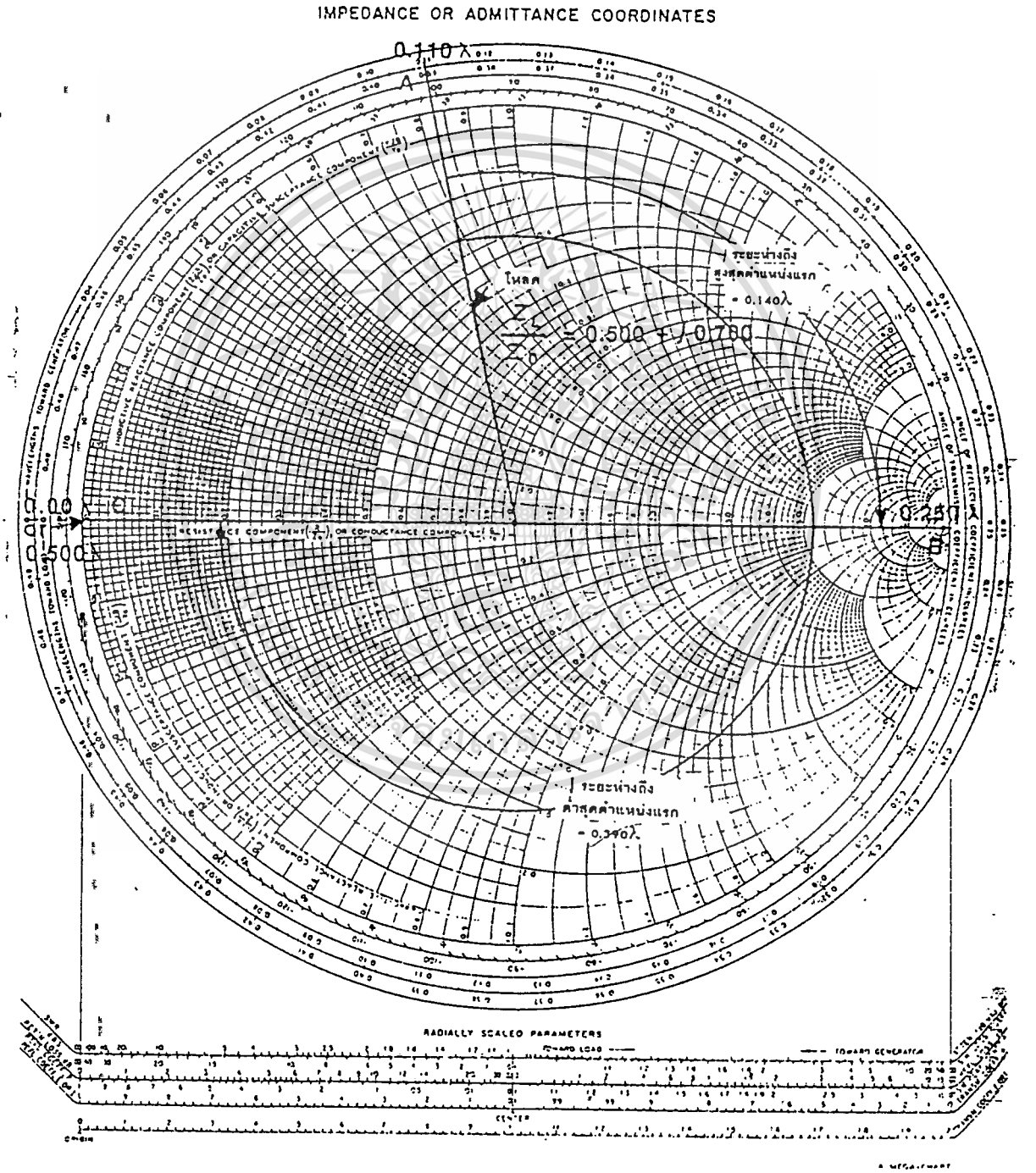
$$ZL/Zo = 25/50+j35/50$$

$$= 0.5+j0.7$$

2. พล็อตค่านอร์มอลไลซ์ของโหลดบนสมิธชาร์ตลากเส้นตรงจากจุด 1.0 ผ่านจากจุดโหลดไปตัดเส้นสเกนความยาวคลื่นได้จุด A ตามรูปที่ 2.27 จะอ่านค่าความยาวคลื่นได้เท่ากับ 0.110λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3. ตำแหน่งสูงสุด และตำแหน่งต่ำสุดหาได้ โดยวนตามเข็มนาฬิกาทิศทางพุ่งเข้าหาสู่แหล่งจ่ายพลังงานวัดจากโหลดโดยแรงดันสูงสุดจุดแรกเกิดการตกคร่อมที่ค่าความต้านทานสูงสุดซึ่งคือจุดขวาสุดของเส้นแนวนอนหรือจุด 0.25 (จุด B ตามรูปที่ 2.27)



รูปที่ 2.27 ตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.250 λ (ตำแหน่งแรกของแรงดันสูงสุด)

-0.110 λ (ตำแหน่งของโหลด)

0.140 λ (ระยะห่างจากโหลดถึงตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุด)

จากสมการที่ 2.1

$$\lambda = 30/f$$

$$\lambda = 30/1075$$

$$\lambda = 17.1 \text{ cm.}$$

ระยะจากโหลดถึงจุดแรงดันสูงสุดตำแหน่งแรก $= 0140\ \lambda$

$$= 0.140(17.1)$$

$$= 2.39 \text{ cm.}$$

ส่วนที่เกิดแรงดันต่ำสุดตำแหน่งแรก ณ จุดความต้านทานเป็น 0 ซึ่งคือจุด C ของเส้นสเกลแนวนอน แสดงให้เห็นตามรูปที่ 2.27 ค่าความยาวกลื่นของจุด C จะเป็นได้ทั้ง 0.00λ หรือ 0.500λ

0.500λ (ตำแหน่งของแรงดันต่ำสุด)

-0.110λ (ตำแหน่งของโหลด)

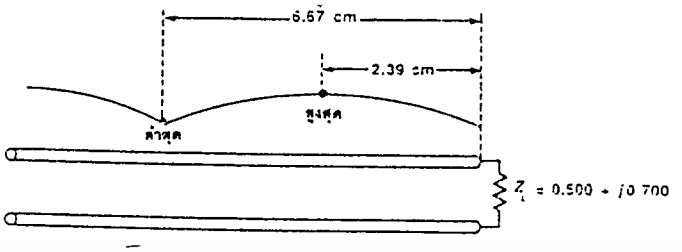
0.390λ (ระยะห่างจากโหลดถึงตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันต่ำสุด)

ระยะจากโหลดถึงจุดแรงดันต่ำสุดตำแหน่งแรก $= 0.390\lambda$

$$= 0.390(17.1)$$

$$= 6.67 \text{ cm.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 ตำแหน่งสูงสุดและต่ำสุดที่หาได้จากตัวอย่างที่ 10

2.2.7 การหาสตับอนุกรมแบบเดี่ยวเพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด

การนำโหลดที่มิสแมทช์กับค่าคาแรคเตอริสติกอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณมาต่อเข้าที่ปลายสายเป็นผลทำให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นสัญญาณไม่ว่าจะเป็นกระแสหรือแรงดันก็ตาม คลื่นสัญญาณสะท้อนกลับที่รวมตัวให้รูปคลื่นมีขนาดใหญ่เป็นสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อสายนำสัญญาณและแหล่งจ่ายพลังงานเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวจึงใช้การเพิ่มรีแอคแตนซ์อนุกรมเข้าระหว่างสายนำสัญญาณและโหลดวางอยู่ข้างหน้าโหลดโดยต้องเลือกจุดต่อเหมาะสมทำให้เกิดการแมทช์ของโหลดเข้ากับสายนำสัญญาณจึงไม่เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นสัญญาณในระบบสื่อสารที่ใช้งาน

เราสามารถจัดทำรีแอคตีฟโหลดแบบอนุกรมได้โดยใช้สายนำสัญญาณซึ่งเทอร์มิเนตปลายปิดและเรียกโหลดชนิดนี้ว่าสตับปิด หรือชอร์ตสตับ (Shorted Stub) แสดงการใช้งานไว้ดังรูปที่ 2.29

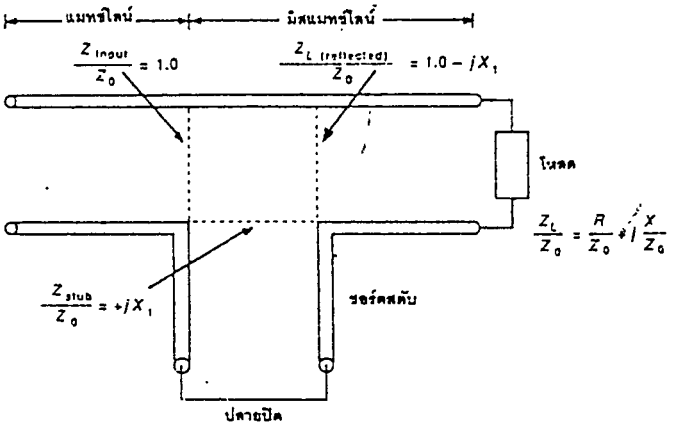
ในการใช้งานจริงโหลดที่ปลายสายนำสัญญาณส่วนมากจะเป็นคอมเพลกซ์โหลดซึ่งแทนด้วย

$$ZL = R+jX$$

หรือนอร์มอลไลซ์ที่โหลดที่เป็น

$$ZL/Zo = R/Zo+jX/Zo$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 การต่อสตับเดี่ยวอนุกรมเข้ากับสายนำสัญญาณ

การแมทชิ่งด้วยวิธีนี้จะต้องหาตำแหน่งซึ่งจะอยู่จุดใดก็ตามแต่จะต้องทำให้อินพุทที่ได้ทำการนอร์มอลไลซ์อิมพิแดนซ์มีค่าเป็น

$$Zinput/Zo = 1+Jx$$

เมื่อเราเพิ่มรีแอคตีฟโหลดอนุกรมเข้าที่ตำแหน่งเราจะพบว่าค่าอินพุทอิมพิแดนซ์เป็น Zinput/Zo = 1+-Jx ดังกล่าวโดยให้ค่ารีแอคแตนซ์อนุกรมเข้าไปเท่ากับ jX หรือเท่ากับค่ารีแอค-แตนซ์ ณ ตำแหน่งนั้นแต่มีเครื่องหมายตรงข้ามกัน เพื่อขจัดรีแอคแตนซ์ทำให้เกิดแมทช์ไลน์ขึ้นดังนั้นสมมติให้ตำแหน่งที่อนุกรมมีค่าอินพุทอิมพิแดนซ์เป็น

$$Zinput/Zo = 1+Jx$$

การต่อรีแอคแตนซ์ -jX อนุกรมเข้าไปเป็นผลให้

$$Zinput/Zo = 1+Jx-jX$$

$$= 1$$

ฉะนั้น ณ ตำแหน่งที่พิจารณาจะเกิดสภาพที่เรียกว่า แมทช์โหลด (Matched load)จะไม่มีการสะท้อนกลับเกิดขึ้นอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ารีแอคแตนซ์และตำแหน่งบนสายนำสัญญาณที่ต่ออนุกรมสตับนั้นสามารถใช้สมิธชาร์ตเข้าช่วยตามแสดงวิธีหาในรูปที่ 2.30 ซึ่งจะเริ่มจากการพล็อตค่านอร์มอลไลซ์โหลดแล้วทำการวาดวงกลม VSWR ของการนอร์มอลไลซ์โหลดที่พล็อตลากเส้นตรงจากจุดศูนย์กลางหลัก (จุด1.0) ผ่านจุดโหลดไปตัดสเกล C ได้จุด A จากนั้นลากเส้นตรงจากจุด 1.0 ผ่านจุดซึ่งเกิดจากการตัดกันของวงกลมรีซิสแตนซ์ (วงกลม Constant R=1) กับวงกลม VSWR ไปตัดสเกลความยาวคลื่นได้จุด B เท่ากับ 1.0 จำนวน 2 จุด ด้วยกันจุดตัดที่ 1 (Intersection 1) มีค่าอินพุทอิมพิแดนซ์เป็น

$$Zinput/Zo = 1-Jx$$

ส่วนจุดตัดที่ 2 จะได้อินพุทอิมพิแดนซ์เป็น

$$Zinput/Zo = 1+Jx$$

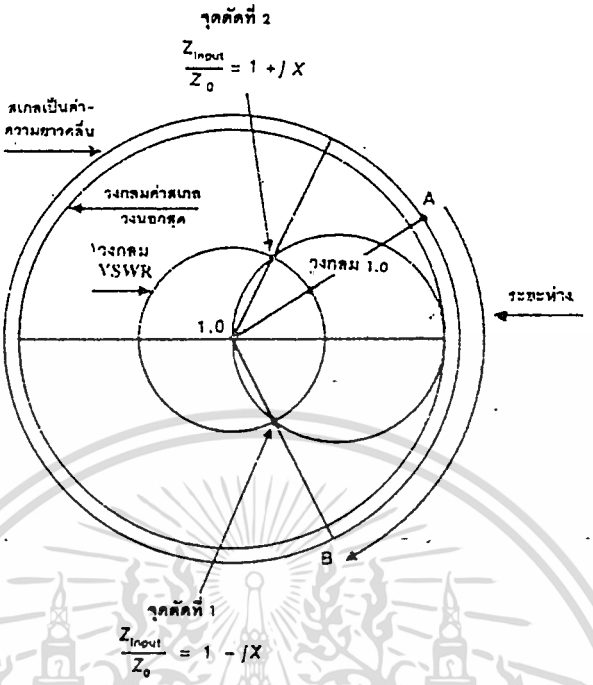
จุดตัดทั้งสองนี้นำไปใช้งานได้ในทางปฏิบัติการใช้งานจริงเราจะเลือกค่าอิมพิแดนซ์จากจุดตัดซึ่งอยู่ใกล้กับโหลดซึ่งเราจะพิจาณาในทิศทางการพุ่งเข้าสู่แหล่งจ่ายพลังงานทิศทางบนสมิธ-ชาร์ตวนตามเข็มนาฬิกา (สังเกตทิศทางจากขอบทางซ้ายของวงกลมสมิธชาร์ตจะพบลูกศรและคำว่า WAVELENGTHS TOWARD TO GENERATOR) สาเหตุที่เลือกจุดใกล้เป็นหลักเนื่องจากความสะดวกในการต่อสตับและสามารถลดความเสียหายต่อสายนำสัญญาณก็จะได้ระยะความยาวมากกว่า ส่วนระยะห่างจากโหลดถึงจุดต่อสตับเดี่ยวอ่านได้จากสเกลบอกค่าความยาวคลื่นจากจุด A ถึงจุด B ตามรูปที่ 2.30 โดยเมื่อต่อสตับเดี่ยวอนุกรมเข้ากับสายนำสัญญาณจะได้อิมพิแดนซ์ที่จุดต่อเท่ากับ ค่าอิมพิแดนซ์ที่ได้จากจุดตัดที่ 1 บนสมิธชาร์ต มองย้อนกลับออกมาก็จะพบสตับเดี่ยวที่ต่อมีค่ารีแอคแตนซ์ที่หักล้างกับรีแอคแตนซ์จากจุดตัดที่ 1 บนสมิธชาร์ตดังนั้นสภาพสายนำสัญญาณทางด้านแหล่งจ่ายพลังงานจะแมทช์เข้ากับโหลดซึ่งจะไม่เกิดคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณในช่วงบน ส่วนในทางด้านโหลดนั้นอิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่ต่อเข้ากับโหลดจะมีค่าแสดงไว้ตามรูปที่ 2.29

2.2.8 การหาสตับขนานแบบเดี่ยวเพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด

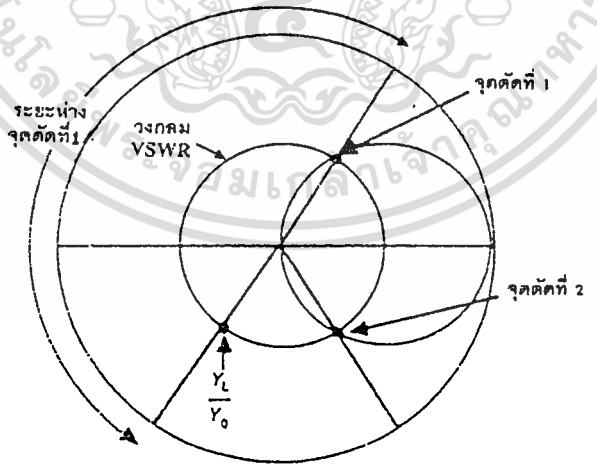
การหาสตับขนานแบบเดี่ยวเป็นอีกวิธีหนึ่งในการแมทช์สายนำสัญญาณเข้ากับโหลดจุดที่ต่อสตับจะอยู่หน้าโหลด และมีค่านอร์มอลไลซ์อินพุทแอดมิตแตนซ์เท่ากับ

$$Yinput/Yo = 1-j\ Yi/Yo \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 จุดตัดกันของวงกลม



รูปที่ 2.31 ตำแหน่งจุดตัดทั้งสองบนสมิทชาร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นการแมทช์โหลดเข้ากับสายนำสัญญาณที่ตำแหน่งนั้น ซึ่งจะมีค่าแอดมิตแตนซ์ตามสมการ 2.2 จะต้องใช้สตับซึ่งค่าอินพุทแอดมิตแตนซ์เท่ากับ +jYi/Yo ความยาวและตำแหน่งที่ต่อสตับขนานนั้นหาได้ โดยใช้วิธีเดียวกันกับการต่อสตับอนุกรมเพียงแต่เปลี่ยนค่าอิมพีแดนซ์ให้เป็นแอดมิตแตนซ์ เพื่อสะดวกในการคำนวณ คือ เราจะทำการแปลงค่าโหลดซึ่งนิยมระบุให้เป็นค่าอิมพิแดนซ์ให้เป็นค่าโหลดแอดมิตแตนซ์เสียก่อนแล้วทำการพล็อตโหลดแอดมิตแตนซ์ที่ได้ลงบนสมิธชาร์ตและวาดวงกลม VSWR ผ่านจุดโหลดที่พล็อต ดังรูปที่ 2.31 หลังจากนั้นหาตำแหน่งบนสายนำสัญญาณ (ซึ่งระยะห่างจะอ้างอิงหรือเทียบกับจุดต่อโหลด) ซึ่งจะได้ค่าแอดมิตแตนซ์ตามสมการที่ 2.2 ตำแหน่งดังกล่าวบนสมิธชาร์ต ได้จากจุดตัดของวงกลม VSWR กับวงกลมค่า Constant G หรือ วงกลมแทนคอนดัคแตนซ์เท่ากับ 1.0 จะได้จุดตัดจุดใดก็ได้แต่นิยมใช้จุดใกล้มากกว่ารูปที่ 2.31 ตำแหน่งจุดตัดทั้งสองบนสมิธชาร์ต ดังกล่าวเราก็จะได้ค่าแอดมิตแตนซ์และค่าความยาวคลื่น (ซึ่งเป็นค่าที่ทำการนอร์มอลไลซ์ทั้งคู่) ซึ่งเป็นระยะห่างจากโหลดถึงจุดที่จะต่อสตับค่าแอดมิตแตนซ์ที่จุดนี้เท่ากับ 1+-jYi/Yo ทำการขจัดเทอมจินตภาพหรือค่าซัสเซฟแตนซ์โดยการเลือกค่าของสตับที่มีเครื่องหมายตรงข้ามค่าที่เลือกสามารถเลือกออกมาเป็นค่านอร์มอลไลซ์ของความยาวคลื่นจากสเกล C เป็นค่าความยาวของชอร์ตสตับที่ใช้งานทั้งที่เป็นค่าความยาวของสตับขนาน (Parallel Stub) และระยะห่างของจุดที่ต่อเทียบกับโหลด แปลงเป็นค่าหน่วยความยาวที่ใช้งานได้โดยคูณค่าที่อ่านจากสมิธชาร์ตด้วยค่าความยาวคลื่นในหน่วยความยาวที่ต้องการนั้นที่ความถี่ในการใช้งานนั้นๆ ด้วย

ตัวอย่างที่ 11 สายนำสัญญาณ 50 โอห์มเทอร์มิเนตปลายสายด้วยโหลด ZL=75+j65 ถ้าต้องการแมทช์โหลดเข้ากับสายนำสัญญาณโดยใช้สตับต่อขนาน จงหาตำแหน่งที่จะต่อสตับนี้และความยาวของสตับที่จะใช้ด้วย เมื่อใช้งานที่ความถี่เท่ากับ 1.5 GHz

วิธีหา

1. ก่อนอื่นต้องทำการนอร์มอลไลซ์ ZL

$$ZL = 75/50+j65/50$$

$$= 1.5+j1.3$$

2. พล็อตค่าที่ได้จากข้อ 1 ลงบนสมิธชาร์ตทำการวาดวงกลม VSWR จากนั้นลากเส้นตรงจากจุดพล็อตของโหลดผ่านจุดศูนย์กลางหลัก (จุดที่มีค่ารีซิสแตนซ์เท่ากับ 1.0) ไปตัดวงกลม VSWR จะได้ค่าแอดมิตแตนซ์ซึ่งเป็นค่าอินเวอสหรือส่วนกลับของค่าอิมพิแดนซ์ที่โจทย์บอกมาต่อออกไปตัดสเกล C จะได้ค่าความยาวคลื่น ณ ตำแหน่งแอดมิตแตนซ์นั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.32

3. จากรูปที่ 2.32 จะหาว่าวงกลม VSWR ตัดกับวงกลมคอนดัคแตนซ์ 1.0 2 จุดคือจุดตัดที่ 1 และ 2 เลือก GHz 1 เป็นตำแหน่งที่ต่อสตับ (เหตุที่เลือกจุดนี้ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้) ซึ่งอ่านจากสมิธชาร์ตในทิศทางพุ่งเข้าแหล่งกำเนิด (Wavelengths to ward generator) หรือวงตามเข็มนาฬิกามีค่าเป็น

$$d1 = 0.058+0.166$$

$$= 0.224\ \lambda$$

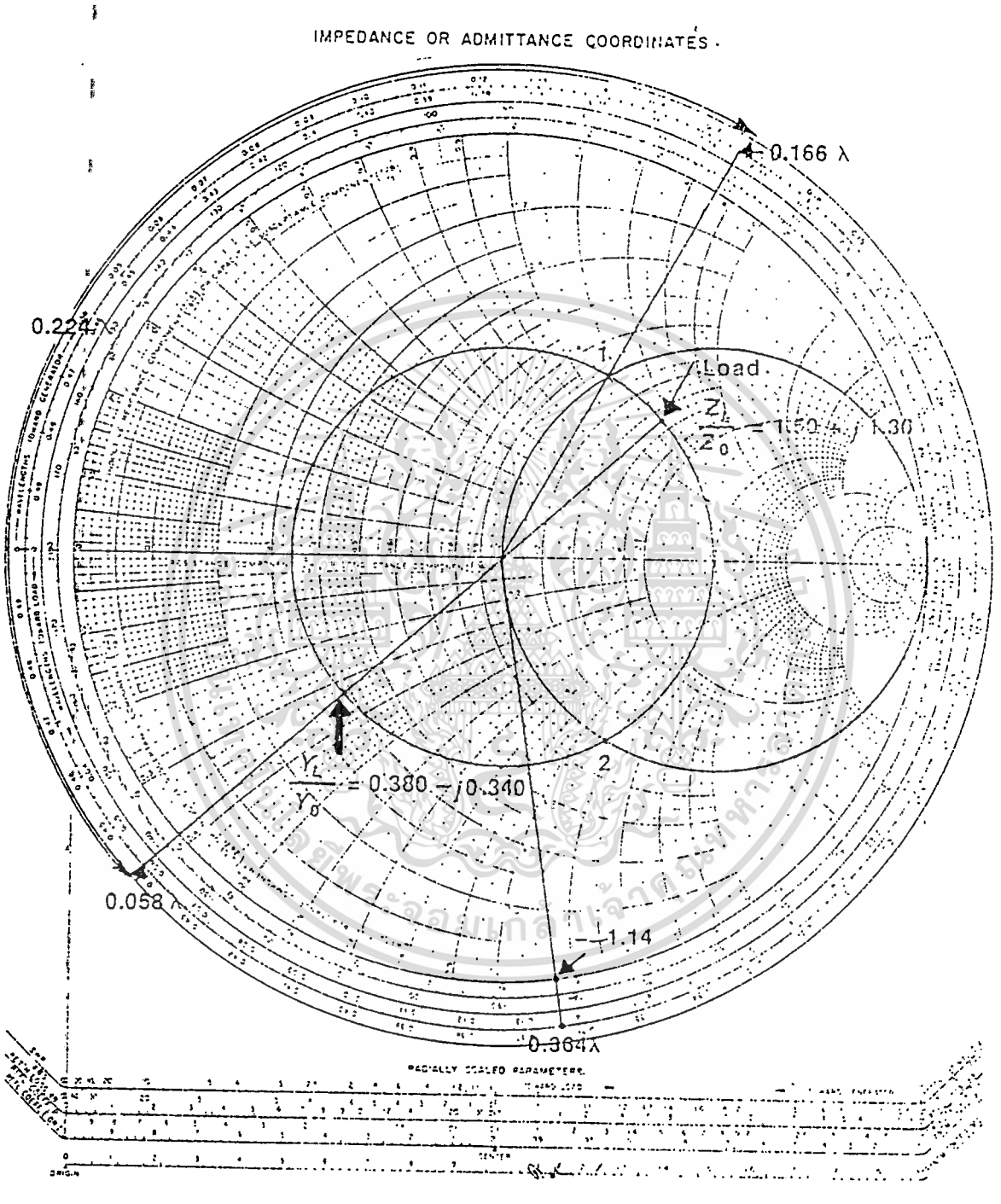
4. เนื่องจากโจทย์กำหนดความถี่ใช้งานเท่ากับ 1.5 GHZ ใช้สมการที่ 2.1 เราก็จะได้ค่าเป็น

$$\lambda\ (cm) = 30/f(GHZ)$$

$$= 30/1.5$$

$$= 20\ cm.$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 สำหรับตัวอย่างที่ 11

ฉะนั้นระยะห่าง d1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะต่อสตับขนานมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d = 0.224\,\lambda$$

$$= 0.224(20)$$

$$= 4.88 \text{ cm}$$

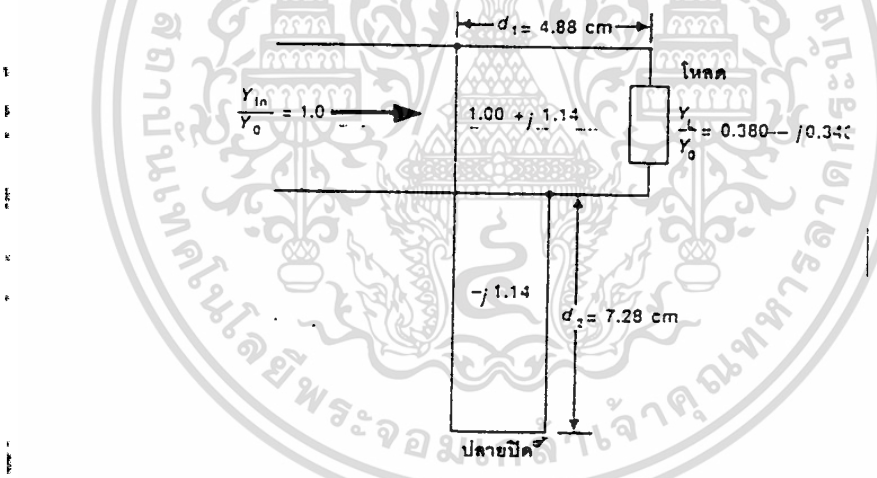
5. เพราะว่าค่าแอดมิตแตนซ์ของโหลดเท่ากับ

$$YL/Yo = 0.364$$

$$= 0.364(20)$$

$$= 7.28 \text{ cm}$$

แสดงการต่อสตับทั้งระยะห่างและความยาวของสตับในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33

2.2.9 การหาสตับขนานแบบคู่เพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด

ในการหาตำแหน่งเพื่อที่จะต่อสตับจูนแบบเดี่ยวนั้นสำหรับการใช้งานจริงนั้นไม่ได้ง่าย เหมือนการพล็อตบนสมิธชาร์ตถึงแม้ว่าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะหาได้จากสมิธชาร์ต แต่ในการใช้การใช้งานทางปฏิบัติแล้วอาจจะมีความจำเป็นต้องปรับจูนละเอียด เพื่อให้ได้สภาวะแมทช์ที่ดีที่สุด อาจใช้วิธีปรับลื่อนระยะห่างของสตับ หรือทริม (trim) ความยาวของสตับก็แล้วแต่วิธีการหรือความสะดวกในการใช้งานนั้น ๆ แต่ทั้งสองวิธีจะไม่สะดวกนักในทางปฏิบัติ ซึ่งใช้สตับแบบเดี่ยว

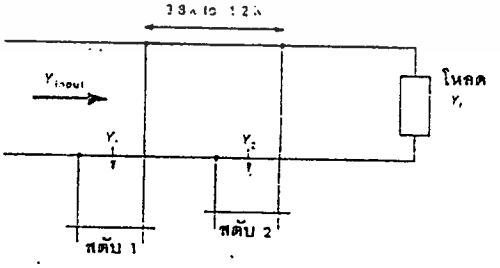
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาต่ออนุกรมหรือขนานเข้ากับสายนำสัญญาณวิธีที่จะลดความยุ่งยากความไม่สะดวกต่าง ๆ นี้ทำได้โดยการใช้สตับต่อคู่ขนานเข้ากับสายนำสัญญาณให้มีระยะห่างจากกันอยู่ระหว่าง 3/8λ ถึง 1/2λ ของระยะความยาวคลื่นที่ต่อสตับคู่นี้ใช้วิธีต่อขนานจะสะดวกที่สุดและไม่นิยมการต่อแบบอนุกรม วิธีต่อแบบขนานนี้จะยิ่งง่ายขึ้นเมื่อสายนำสัญญาณที่ใช้เป็นโคแอกเชียล เพราะว่ามีหัวต่อแบบทีหรือเรียกว่า (T-connector) ช่วยให้การต่อง่ายขึ้นมาก สำหรับชอร์ตสตับที่ใช้สายโคแอกเชียลนี้มีชนิดที่สามารถปรับแบบสไลด์เพื่อเปลี่ยนค่าความยาวของสตับได้และสายโคแอกเชียลแบบที่ปรับความยาวได้นั้น (โดยการใช้สไลด์เข้าออก) นิยมใช้คั่นกลางระหว่างสตับคู่เพื่อที่ปรับระยะทางให้เหมาะสม การต่อสตับคู่ขนานเข้ากับสายนำสัญญาณแบบทูไวร์ (แบบคู่ขนานนั่นเอง) และแบบโคแอกเชียล ตามรูปที่ 2.34 (ก) และ (ข)

เพราะว่าสตับคู่นี้จะต่อแบบขนานเข้ากับสายนำสัญญาณการใช้ค่าแอดมิตแตนซ์ในการพิจารณาจะสะดวกทั้งต่อการใช้งานและการคำนวณมากกว่าอิมพิแดนซ์และหลังจากการแมทช์สายนำสัญญาณเข้ากับโหลดที่เราใช้กันคือ หาตำแหน่งบนสายที่จะทำให้ค่าอินพุทแอดมิตแตนซ์เท่ากับค่าคาแรคเตอริสติกแอดมิตแตนซ์ของสายนั้นเอง

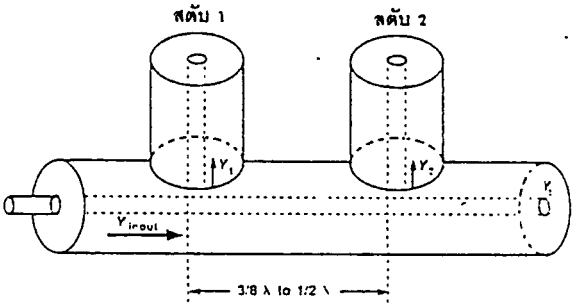
$$Yinput/Yo = 1+j0 \qquad (2.3)$$

สภาวะแมทช์สำหรับการใช้สตับคู่นั้นจะเกิดขึ้นได้จากการพิจารณาระยะห่างระหว่างสตับคู่นั้นและหาความยาวที่เหมาะสมของสตับทั้งสอง แม้ว่าปัญหาจะดูซับซ้อนยิ่งขึ้นแต่เราก็สามารถใช้สมิธชาร์ตมาช่วยหาได้เช่นกันและจากรูปที่ 2.34 เราจะพิจารณาถึงผลรวมของค่าแอดมิตแตนซ์ของโหลดและสตับ 2 ซึ่งถูกสะท้อนกลับในทิศทางที่เข้าสู่แหล่งจ่ายพลังงานไปถึงจุดต่อของสตับ 1 ซึ่ง ณ จุดนั้นค่าแอดมิตแตนซ์ของสตับ 1 และโหลดสะท้อนกลับรวมเข้าด้วยกันต้องมีค่าเท่ากับค่าที่ทำให้เกิดสภาวะแมทช์ที่ต้องการคือ 1+j0 ในสมการที่ 2.3

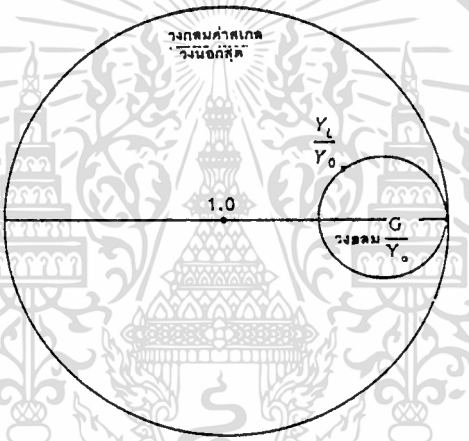


รูปที่ 2.34 (ก) การต่อแบบทูไวร์ดับเบิ้ลสตับจูนนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) การต่อแบบโคแอกเชียลสตับจูนนิ่ง

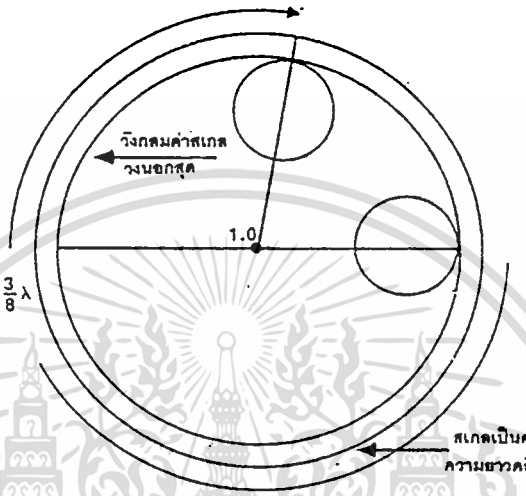


รูปที่ 2.35โหลดแอดมิตแตนซ์และวงกลม G/Yo

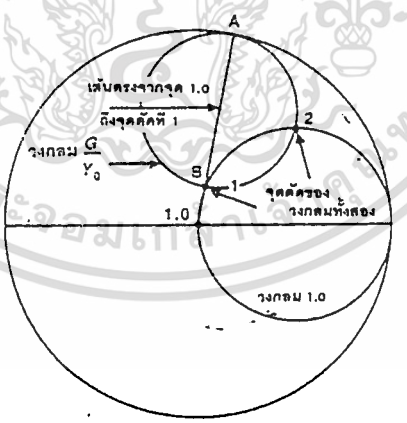
ในทางปฏิบัติความยาวของสตับ 1 จะถูกเลือกไว้ที่ค่าซัสเซฟแตนซ์ ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะแม่ทช์เมื่อพิจารณาทางด้านแหล่งจ่ายพลังงานแต่ถ้าพิจารณาทางด้านโหลดมีส่วนของแอดมิตแตนซ์ที่สะท้อนกลับไปยังจุดต่อของโหลดและสตับ 2 หลังจากนั้นจะปรับค่าความยาวของสตับ 2 ให้เกิดค่าซัสเซฟแตนซ์ ซึ่งรวมกับโหลดแล้วหักล้างค่าแอดมิตแตนซ์ที่สะท้อนกลับให้หมดไปจึงจะได้สภาวะแมทช์ที่แท้จริงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหล่านี้สามารถหาได้ โดยใช้สมิธชาร์ตแทนที่จะต้องใช้การคำนวณที่ยุ่งยากกว่า แรกสุดต้องพล็อตโหลดแอดมิตแตนซ์ลงบนสมิธชาร์ตและวาดวงกลมคอนดัคแตนซ์ G/Yo ดังแสดงในรูปที่ 2.35 จากนั้นให้หมุนวงกลมไปโดยมีระยะห่างระหว่างสตับทั้งสองดังรูปที่ 2.36 ซึ่งระยะห่างจะอยู่ในช่วงระหว่าง 3/8λ จนถึง 1/2λ แต่ในที่นี้จะใช้ระยะห่างเท่ากับ 3/8 λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

วงกลม G/Yo ที่หมุนไปนั้นจะต้องตัดกับวงกลมรีซิสแตนซ์เท่ากับ 1.0 ดังในรูปที่ 2.37 ทั้งนี้เพื่อที่จะให้ได้ตำแหน่งบนสายนำสัญญาณในทิศทางเข้าหาแหล่งจ่ายพลังงาน (การหมุนวง-กลมเป็นไปในทิศทางวนเข็มนาฬิกา) ที่จะมีค่าแอดมิตแตนซ์เป็น 1+-jY/Yo ฉะนั้นถ้าวงกลมดังกล่าวไม่ตัดกันจะต้องเลื่อน หรือหมุนวงกลม G/Yo ให้ตัดกันกับวงกลม Constant R เท่ากับ 1.0 แต่ภายในระยะห่างจำกัดช่วงอยู่ระหว่าง 3/8λ ถึง 1/2λ เท่านั้น



รูปที่ 2.36 ทำการหมุนวงกลม G/Yo ไปด้วยระยะเท่ากับ 3/8λ



รูปที่ 2.37 การตัดกันของวงกลม G/Yo และวงกลม R = 1.0

ลากเส้นตรงจากจุด 1.0 ผ่านจุดตัดจุดใดจุดหนึ่งในสองจุดที่เกิดขึ้น ซึ่งในที่นี้เลือกใช้จุดตัดที่ 1 (Intersection Point No.1) ไปตัดสเกล C ซึ่งจะเป็นสเกลความยาวคลื่นที่จุด A ที่จุด B จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินพุทแอดมิตแตนซ์มาจากผลรวมของอินพุทแอดมิตแตนซ์สตับที่ 1 และอินพุทแอดมิตแตนซ์เนื่องมาจากการสะท้อนกลับจากโหลด (Reflected Load) ทำให้อินพุทแอดมิตแตนซ์ที่จุด B มีค่าเท่ากับ

$$Yinput(B)/Yo = Y1/Yo+Yreflected/Yo \qquad (2.4)$$

โดยที่ Yreflected เป็นอินพุทแอดมิตแตนซ์ที่จุด A ซึ่งเกิดจากโหลดแอดมิตแตนซ์ หรือสตับ 2 สะท้อนกลับมาด้วยระยะทาง 3/8λ

ฉะนั้นกรณีที่เกิดการแมทช์กับโหลด สมการที่ 2.3 และ 2.4 จะมีค่าตามสมการ

$$1+j0 = Y1/Yo +[1+jY1/Yo]$$

ค่าแอดมิตแตนซ์ของสตับ 1 ที่จะทำให้เกิดสภาวะแมทช์ ในทางด้านอินพุทจากแหล่งจ่ายพลังงานมีค่าเท่ากับ

$$Y1/Yo = -jY1/Yo$$

ซึ่งเป็นค่าซัสเซฟแตนซ์ของโหลดที่จุด 1 บนสมิธชาร์ตได้จากการปรับความยาวของสตับ 1 โดยพล็อตค่าซัสเซฟแตนซ์ที่ต้องการบนสเกล B ลากเส้นตรงจากจุด 1.0 ผ่านจุดที่พล็อต (ถ้าค่าซัสเซฟแตนซ์มีเครื่องหมายบวกจะตกอยู่ในช่วงครึ่งวงกลมบนถ้าหากเป็นเครื่องหมายลบจะตกอยู่ในช่วงครึ่งวงกลมล่าง) ไปตัดด้านซ้ายสุดของสมิธชาร์ตไปจนถึงจุดที่ตัดบนสเกล C ดังกล่าวข้างต้นนั้น (ซึ่งวิธีนี้ก็คือ การหาอินพุทอิมพิแดนซ์ หรือแอดมิตแตนซ์ของสายนำสัญญาณต่อปลายแบบเปิดที่ได้กล่าวไปแล้ว) หลังจากนั้นให้ทำการหมุนรอบค่าแอดมิตแตนซ์ที่จุด A ในทิศทางวนทวนเข็มนาฬิกาไปเป็นระยะทางท่ากับ 3/8λ ตัดกับวงกลม G/Yo ที่วาดขึ้นตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.35 เกิดจุดตัดขึ้น 2 ตามที่แสดงในรูปที่ 2.38 อินพุทแอดมิตแตนซ์ที่จุด A มาจากโหลดแอดมิตแตนซ์ YL รวมตัวกันกับอินพุทแอดมิตแตนซ์ของสตับตามสมการ

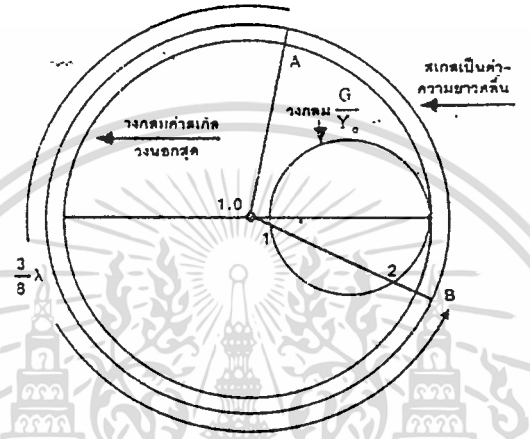
$$Yinput(A)/Yo = YL/Yo+Y2/Yo \qquad (2.5)$$

จุดตัดของเส้นตรงที่หมุนมา 3/8λ กับวงกลม G/Yo ค่าแอดมิตแตนซ์ที่สะท้อนกลับมาจากจุดตัดของสตับ 1 จะต้องเท่ากับค่าแอดมิตแตนซ์อันเนื่องมาจากโหลดและสตับ 2 ดังนั้นค่าแอดมิตแตนซ์ของสตับ 2 ที่จะแมทช์ทั้ง 2 ค่าในสมการที่ 5 ณ จุดตัดดังกล่าวจะต้องมีค่าสมการ

$$Y2/Yo = (Y2/Yo+YL/Yo)-(YL/Yo) \qquad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งก็คือค่าแอดมิตแตนซ์ที่สะท้อนกลับมาจากสตับ 1 (อีกครั้งหนึ่ง) จะต้องลบด้วยค่าแอด-มิตแตนซ์ของโหลด จุดตัดที่ 1 จะให้ค่าแอดมิตแตนซ์เป็น[Y2/Yo+YL/Yo] หรือค่า Y2 หรืออินพุทแอดมิตแตนซ์ของสตับ 2 จะได้จากสมการที่ 6 ส่วนในการหาความยาวของสตับ 2 ใช้วิธีเดียวกับสตับ 1 ซึ่งได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้แล้ว



รูปที่ 2.38 การหมุนจากจุด A มายังจุด B ด้วยระยะ 3/8λ

ตัวอย่างที่ 12 จงหาความยาวของสตับ 2 ชุด ซึ่งใช้เมทช์โหลดที่ต่อปลายสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม กำหนดให้ใช้งานที่ความถี่ 500 MHz โหลดที่ต่อมีค่าเป็น 0.036+j0.03s และสตับ 2 ชุด ดังกล่าววางห่างกัน 3/8λ

วิธีหา

1. ทำการนอร์มอลไลซ์โหลดแอดมิตแตนซ์ และพล็อตบนสมิธชาร์ตดังรูปที่ 39

$$Yo = 1/Zo$$

$$= 1/50$$

$$= 0.02s$$

ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$YL/Yo = 0.036/0.02 + j0.03/0.02$$

$$= 1.80+j1.50$$

2. ทำการวาดวงกลม G/Yo =1.8 จากนั้นหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาให้ไปเป็นระยะทาง 3/8λ ดังในรูปที่ 2.39 (3/8λ = 0.375λ) เพราะว่าครึ่งรอบของวงกลมตามสเกลความยาวคลื่นวงนอกสุดมีค่าเป็น 0.250 ดังนั้น 0.375λ-0.250λ = 0.125λ ก็จะเป็นระยะห่างที่เหลือซึ่งเริ่มจากจุดทางด้านซ้ายสุดทำการตรวจสอบให้วงกลม G/Yo และวงกลมรีซิสแตนซ์เท่ากับ 1.0 ตัดกันจริงๆ ถ้าวงกลมทั้งสองไม่ตัดกันให้เพิ่มระยะทางขึ้นไปอีกแต่ไม่เกิน 1/2λ

3. เลือกจุดตัด 1 จะได้ค่าจริงหรือค่าอินพุทคอนดัคแตนซ์เท่ากับ 1.0 (จากวงกลม Constant G =1.0) ค่าจินตภาพหรืออินพุทซัสเซฟแตนซ์เท่ากับ j0.630 (อ่านจากสเกล B ดังในรูปที่ 2.1)

ดังนั้นจะได้

$$Yinput/Yo = 1+j0.630$$

จากสมการที่ 2.3 และ 2.4 จะเป็น

$$1+jo = Y1/Yo+(1+j0.630)$$

$$Y1/Yo = -j0.630$$

จากสมการที่ 2.1

$$\lambda(cm) = 30/f(MHZ)$$

$$= 30/0.500$$

$$= 60 \text{ cm.}$$

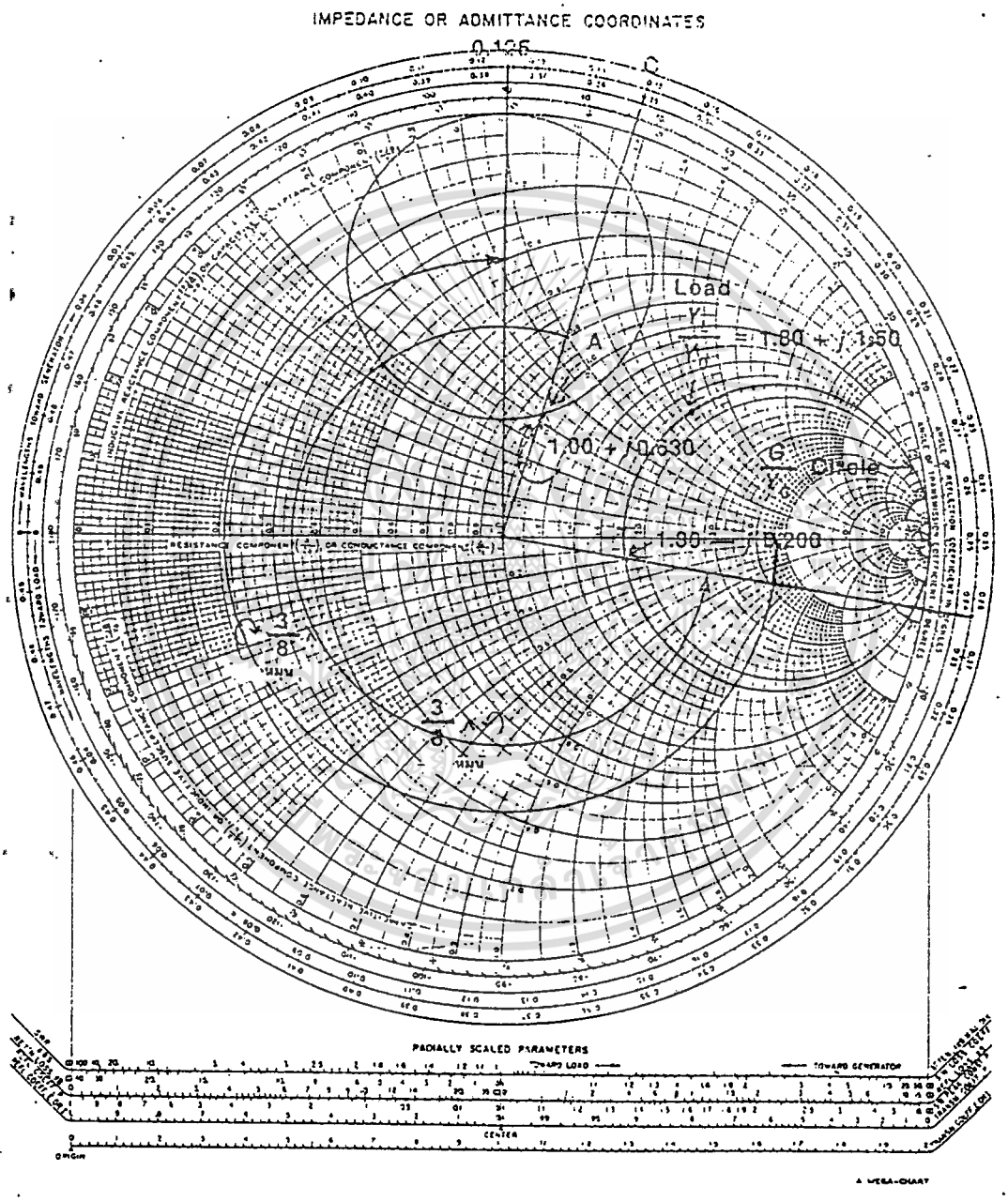
และจากสมิธชาร์ตในรูปที่ 2.40 (ก.) ระยะจากจุดชอร์ตถึงจุดที่ค่าอินพุทแอดมิตแตนซ์เท่ากับ -j0.630 โอห์ม มีค่าเท่ากับ 0.410λ ดังนั้น

ความยาวของสตับ 1 $= 0.410\lambda$

$$=0.410\ (60)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 24.6 cm



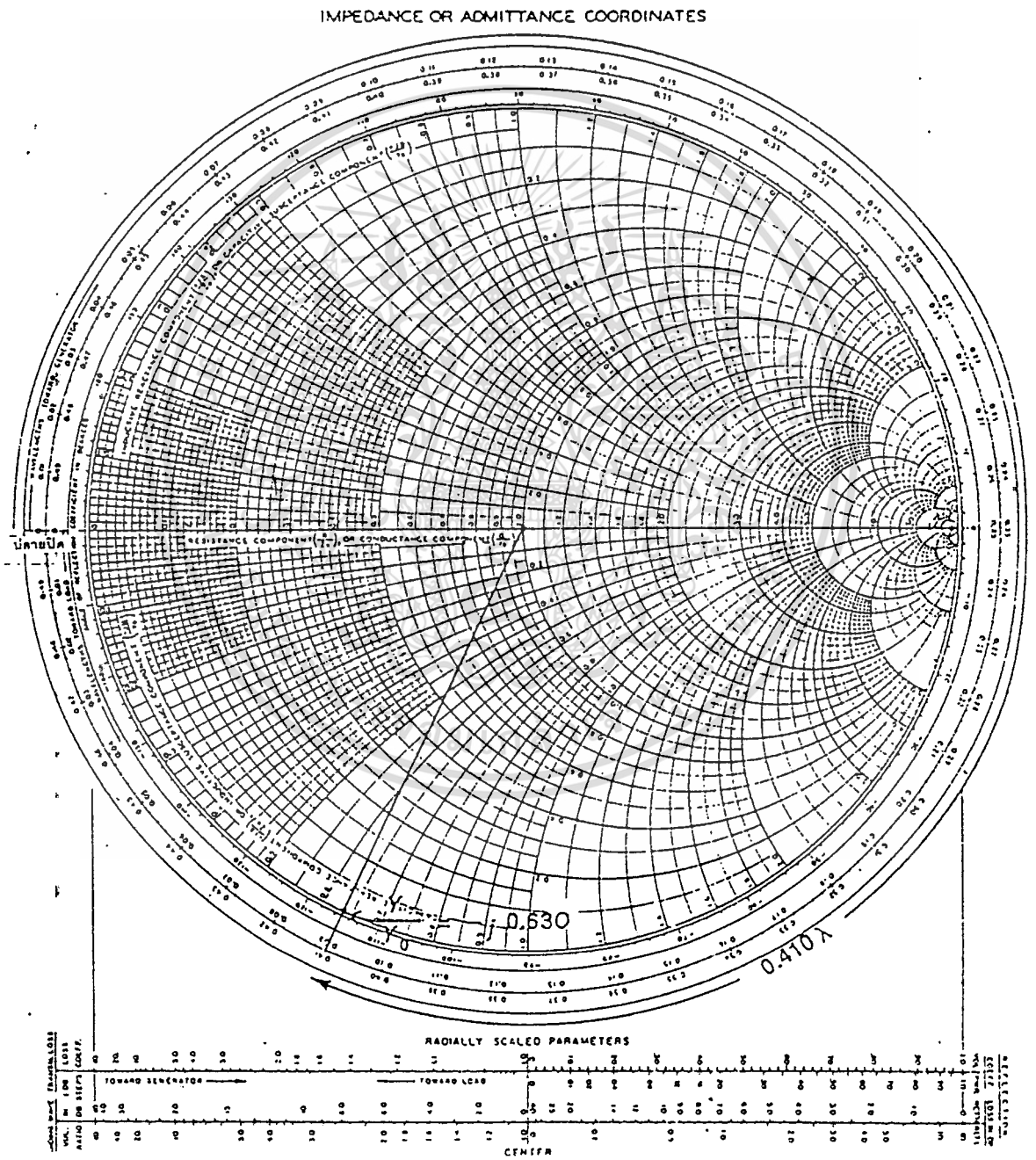
รูปที่ 2.39 การใช้สมิธชาร์ตแก้ปัญหาในตัวอย่างที่ 12

4. ลากเส้นตรงจากจุดที่ 1.0 ผ่านจุดตัดของวงกลม G/Yo = 1.8 ซึ่งได้หมุนมากับวงกลมค่า Constant G = 1.0 ไปตัดเสกลนอกสุดที่จุด C จากนั้นหมุนเส้นตรงเส้นนี้ในทิศวนทวนเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

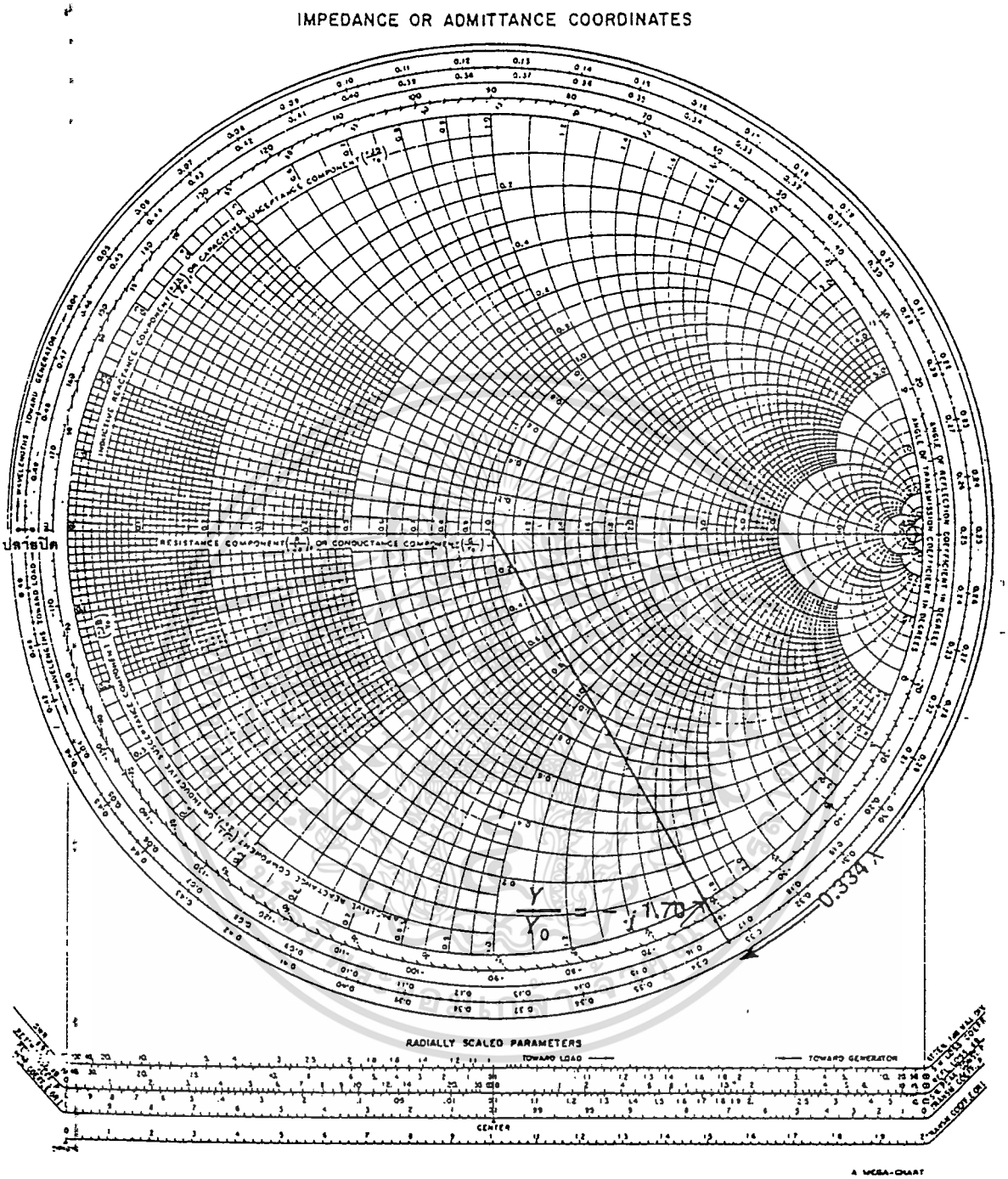
ด้วยระยะทางของ 3/8λ เส้นตรงที่หมุนมานี้จะตัดกับวงกลม G/Yo ได้จุดตัด 2 จุด ดังรูปที่ 2.9 จุดตัดที่ได้จะแทนผลรวมของ Y2 กับ YL และจากสมิธชาร์ตจะได้ค่าแอดมิตแตนซ์จากจุดตัดที่เลือกเท่ากับ

$$[Y2/Yo+YL/Yo] = 1.80-j0.20$$



รูปที่ 2.40 (ก.) การหาความยาวของสตับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 (ข.) การหาความยาวของสตับ 2

จากสมการที่ 2.10

$$Y2/Yo = [Y2/Yo+YL/Yo] - YL/Yo$$

$$\therefore = (1.80-j0.20)-(1.80+j1.50)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= -j1.70$

และจากสมิธชาร์ตในรูปที่ 2.40(ข.) จะได้สตับปลายเปิด -j1.70 มีค่าตามสเกล C เป็น 0.334 ดังนั้น

ความยาวของสตับ 2 $= 0.334\lambda$

$= 0.334(60)$

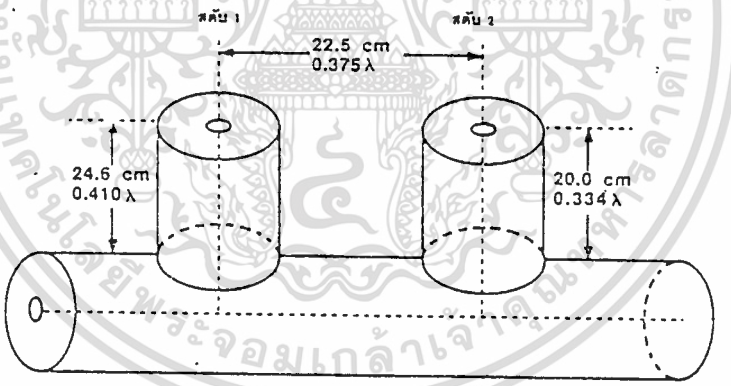
$= 20$ cm.

ระยะระหว่างสตับ 1 และ 2 จะมีค่าเป็น

ระยะระหว่างสตับ 1 และ สตับ 2 $= 0.375\lambda$

$= 0.375(60)$

$= 22.5$ cm



รูปที่ 2.41 การต่อใช้งานจากผลที่หาได้ในตัวอย่างที่ 12

2.3 ความสูญเสียที่เกิดจากพลังงานย้อนกลับ (Return Power Loss)

กำลังงานย้อนกลับเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางไปตามสายนำสัญญาณและไปกระทบกับมิสแมทช์โหลดทำให้กำลังงานบางส่วนย้อนกลับมาตามสายความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับของกำลังงานนี้มีชื่อเรียกว่า Return Loss มีค่าตามสมการ

$$Preturn = 10 \log Pi/pr \qquad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Preturn = กำลังงานย้อนกลับ ,dB

Pi = กำลังงานตกกระทบ(Incident power),W

Pr = กำลังงานสะท้อนกลับ (Reflected power),W

เพราะว่า $P = V^2/R$ เพราะฉะนั้นสมการที่ 2.7 มีรูปเป็น

$$\text{Preturn} = 10 \log [V^2/Zo]/[V^2/Zo]$$

$$= 10 \log Vi^2/Vr^2 \qquad (2.8)$$

$$= 10 \log [Vi/Vr]^2$$

และจาก $\log M^N = N \log M$ จะได้สมการที่ 2.8 ในรูปสมการ

$$\text{Preturn} = 10(2)\log Vi/Vr$$

หารเศษและส่วนเทอมใน log ด้วย Vi จะได้

$$\text{Preturn} = 20 \log 1/ Vr/Vi$$

จากสมการที่ 2.6 ซึ่ง $\Gamma = Vr/Vi$ ดังนั้นสมการที่ 8 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ Γ ได้เป็นตามสมการ

$$\text{Preturn} = 20\log 1/\Gamma \qquad (2.9)$$

กำลังงานที่สะท้อนกลับมาตามสายนั้นตามความเป็นจริงก็คือส่วนหนึ่งจากกำลังงานตกกระทบที่ส่งไปตามสายนำสัญญาณฉะนั้น Return power loss อาจเรียกได้อีกอย่างว่า Two-way power loss

ตัวอย่างที่ 13 จงหา Return loss (dB)เมื่อกำลังงานตกกระทบเท่ากับ 135 mwเกิดกำลังงานสะท้อนกลับมาเท่ากับ 55 mW

วิธีหา จากสมการที่ 2.7

$$\text{Preturn} = 10 \log Pi/Pr$$

$$= 10 \log 0.135/0.155$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

= 3.90 dB

ตัวอย่างที่ 14 จงหาสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน (Γ) และ VSWR เมื่อเกิด Return loss เมื่องจากมิสแมทช์โหลด มีค่าเท่ากับ 2.95 dB

วิธีหา จากสมการที่ 2.9

$$\text{Preturn} = 20\log 1/\Gamma$$

$$0.148 = 20 \log 1/\Gamma$$

$$1.404 = 1/\Gamma$$

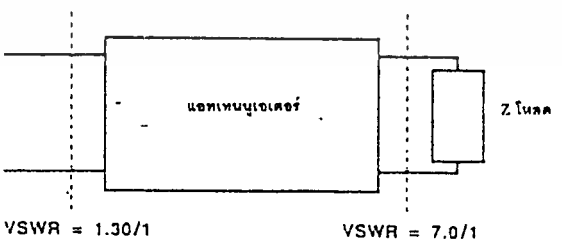
$$\Gamma = 0.712$$

และจากสมการที่ 2.19

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

$$= \frac{1+|0.712|}{1-|0.712|}$$

$$= 5.94/1$$



รูปที่ 2.42

ตัวอย่างที่ 15 จงหาค่าของอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ (Attenuator) ที่จะเพิ่มข้างหน้าโหลด (ตามรูปที่ 42) ในระบบมีค่า VSWR = 7.0/1 เพื่อให้ได้ค่า VSWR ที่ลดลงเหลือ 1.30/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีหา จากสมการที่ 2.20 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับอันเนื่องมาจากโหลดเท่ากับ

$$\Gamma = VSWR-1/VSWR+1$$

$$= 7.0-1/7.0+1$$

$$= 0.750$$

จากสมการที่ 2.9 Return loss จะมีค่าเท่ากับ

$$Preturn = 20\log 1/$$

$$= 20\log 1/0.750$$

$$= 2.50 \text{ dB}$$

ซึ่งเป็นค่า Two-way power loss จากโหลดที่มิสแมทช์ ทำการเพิ่มอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณเพื่อให้ได้ VSWR = 1.30 ฉะนั้นได้สมการที่ 2.20 จะได้

$$\Gamma = VSWR-1/VSWR+1$$

$$= 1.30-1/1.30+1$$

$$= 0.130$$

จากสมการที่ 2.9 ค่า Return loss เนื่องจากอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณไว้หน้าโหลดเป็น

$$Preturn = 20\log 1/$$

$$= 20\log 1/0.130$$

$$= 17.7 \text{ dB}$$

ค่า Two-way power loss เมื่อต่ออุปกรณ์ลดทอนสัญญาณหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17.70 dB (เมื่อ VSWR = 1.30)

-2.50 dB (เมื่อ VSWR = 7.0)

15.20 dB

แต่เนื่องจากกำลังงานที่ส่งไปตามสายจะผ่านอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณ 2 ครั้งด้วย (ขาไปและขากลับ) ฉะนั้นค่าของอุปกรณ์ลดทอนสัญญาณเป็นครึ่งหนึ่งของค่า Two-way power loss ที่ได้ อุปกรณ์ลดทอนสัญญาณที่จะใช้เท่ากับ

15.2/20 = 7.6 dB

2.4 ความสูญเสียกำลังงานจากการมิสแมทช์ (Mismatch power loss)

Mismatch loss หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า One-way power loss เป็นคำที่ใช้เรียกความสูญเสียจากผลการสะท้อนกลับซึ่งเป็นผลมาจากการมิสแมทช์โดยที่เราสามารถหาค่ากำลังสูญเสียจากการมิสแมทช์ของสายได้จากสมการ

$$Pmismatch = 10 \log Pi/Pi- Pr \qquad (2.10)$$

โดยที่ Pmismatch = กำลังงานมิสแมทช์,dB

Pi = กำลังงานตกกระทบ,dB

Pr = กำลังงานสะท้อนกลับ,dB

จากสมการที่ 2.8 ซึ่ง $\Gamma^2 = Pr/Pi$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$Pmismatch = 10\log 1/1-\Gamma^2 \qquad (2.11)$$

โดยที่ Pmismatch = กำลังงานมิสแมทช์,dB

Γ^2 = สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของกำลังงาน,ไม่มีหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 16 จงหาค่าของ Mismatch loss (dB) เมื่อให้กำลังงานตกกระทบมีค่าเท่ากับ 350 mW และกำลังงานตกสะท้อนกลับเป็น 95 mW

วิธีหา จากสมการที่ 2.10

$$\text{Preturn} = 10 \log Pi/Pi\text{-}Pr$$

$$= 10 \log 0.350/0.350\text{-}0.095$$

$$= 1.38 \text{ dB}$$

ตัวอย่างที่ 17 ถ้า VSWR มีค่าเป็น 4.50 ให้หาค่า Mismatch loss (dB)

วิธีหา ให้สมการที่ 2.20

$$\Gamma = \text{VSWR-1/VSWR+1}$$

$$= 4.50\text{-}1/4.50+1$$

$$= 0.636$$

จากสมการที่ 2.11

$$\text{Pmismatch} = 10 \log 1/1\text{-}\Gamma^2$$

$$= 10 \log 1/1\text{-}(0.636)^2$$

$$= 2.25 \text{ dB}$$

2.5 การใช้เรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์ในสมิธชาร์ต

เรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์ (Radially scaled parameters) ซึ่งเป็นแถบสเกลอยู่ข้างใต้ของวงกลมสมิธชาร์ตสามารถใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดันและกำลังงานค่า SWR,VSWR,ค่า Return และ Mismatch power loss (dB)โดยอ่านค่าได้จากสเกลทุกพารามิเตอร์ โดยไม่ต้องมีการคำนวณใดๆ หากทราบค่าพารามิเตอร์บนสเกลค่าหนึ่งค่าใด ใช้ระยะห่างจากจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พล็อตของพารามิเตอร์ที่ทราบค่าถึงเส้น CENTER ไปเพื่อหาค่าพารามิเตอร์อื่นๆ บนสเกลเรเดียล-ลิสเกลพารามิเตอร์ รูปแบบที่ใช้ในการวางสเกลเรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์อาจตกต่างกัน แต่หลักการใช้งานเหมือนกัน ค่าที่อ่านจากสเกลเหล่านี้สามารถนำไปใช้งานได้ แต่ถ้าต้องการค่าพารา-มิเตอร์ที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นควรหาจาก สูตรในหัวข้อ 3 และ 4

สเกล VSWR to SWR (dB)

สเกลข้างใต้ด้านซ้ายมือของรูปที่ 2.43(ก) สามารถใช้แปลงกลับไปมาระหว่าง VSWR ซึ่งอยู่สเกลล่างกับ SWR ซึ่งอยู่สเกลบน

ตัวอย่างที่ 18 จงใช้เรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์หาค่า SWR (dB) จาก VSWR ซึ่งกำหนดให้เท่ากับ2.0

วิธีหา VSWR = 2.0 บนสเกล VSWR และอ่านค่า SWR (dB) จากสเกลบนตามรูปที่ 43 (ข.) จะได้เป็น 6.0 dB

สเกล Voltage to Power reflection coefficient

เส้นสเกลขวามือด้านบนของรูปที่ 2.43(ก.)สามารถที่จะใช้ในการแปลงค่าระหว่าง Voltage reflection coefficient กับ Power reflection coefficient ค่าสเกลจะเริ่มจาก 0 ที่เส้น CENTER ไปเป็นค่าที่มากที่สุดคือ 1.0 ที่ด้านขวาสุดของสเกล

ตัวอย่างที่ 19 จงหาค่า Power reflection coefficient เมื่อเราทราบค่า Voltage reflection coefficient ซึ่งเท่ากับ 0.50 กำหนดให้ใช้เรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์

วิธีหา พล็อตค่า 0.50 บนสเกล Voltage reflection coefficient ด้านบนขวามือและสเกลบนดังรูปที่ 2.43(ค.)จากนั้นอ่านค่า Power reflection coefficient ได้จากสเกลข้างล่างซึ่งเท่ากับ 0.25

สเกล VSWR to Power reflection coefficient และ Voltage reflection coefficient

สเกล Voltage และ Power reflection coefficient แสดงไว้ดังรูปที่ด้านบนขวามือของสเกลเรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์ ส่วนสเกลค่า VSWR จะอยู่ทางด้านล่างซ้ายมือ ตามรูปที่ 2.43 (ก.) หากทราบค่าใดค่าหนึ่งก็สามารถทราบค่าที่เหลือได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตัวอย่าง 20 กำหนดค่า VSWR= 2.0 จงหาค่า Voltage และ Power reflection coefficient จากเรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์

วิธีหา พล็อตค่า VSWR= 2.0 บนสเกลจะได้ระยะระหว่างเส้น CENTER กับค่า VSWR=2.0 ดังรูปที่ 2.43 (ง) นำระยะที่ได้ไปวัดบนสเกลด้านขวามือจะได้ค่า Voltage reflection coefficient กับ Power reflection coefficient ออกมาเป็น

$$\Gamma = 0.340$$

และ

$$\Gamma^2 = 0.115$$

สเกล VSWR to Preturn และ Pmismatch

จากรูปที่ 2.43(ก.)เส้นสเกลด้านล่างขวามือจะบอกค่า Power return loss(dB)สเกลบนและ Power reflectedloss(dB) สเกลล่างโดยที่ค่า Return power lossเริ่มจาก 40 dB ที่ CENTER เพิ่มขึ้นไปจนถึง dB ที่ขวาสุดของ สเกลเช่นกันหากทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหลือได้

ตัวอย่าง 21 จงหาค่า Preturn และ Pmismatch เมื่อกำหนด VSWR = 4.0

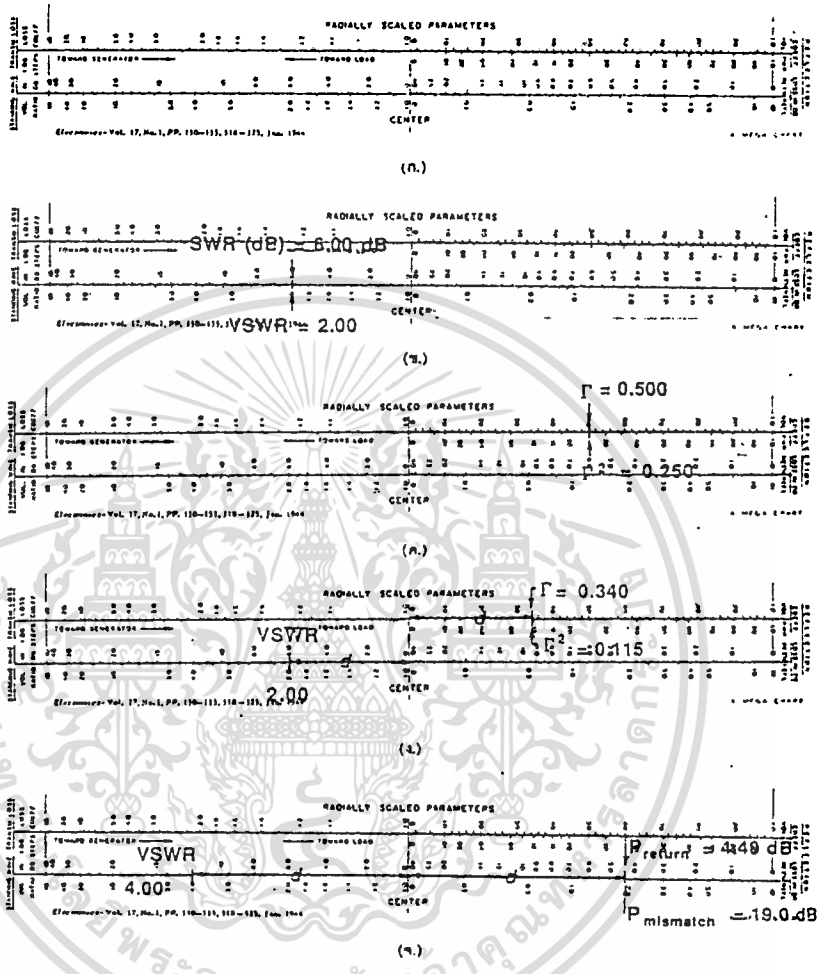
วิธีทำ พล็อตค่า VSWR = 4.0 บนสเกล นำระยะห่างจากเส้น CENTER ถึงจุดVSWR = 4.0 ที่ได้ไปวัดบนสเกลขวามือด้านล่างจะได้ค่า Preturn และ Pmismach

$$\text{Preturn} = 4.4 \text{ dB}$$

และ

$$\text{Pmismatch} = 19.0 \text{ dB}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.43 (ก.),(ข.),(ค.),(ง.) และ (จ.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.5.1 การหาเรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์จากวงกลมสมิธชาร์ต

เรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้งานร่วมกับสมิธชาร์ตดังนั้นระยะห่างจากจุด 1.0 ไปถึงวงกลม VSWR หรือรัศมีของวงกลม VSWR ที่วาดไว้บนวงกลมสมิธชาร์ตจะเท่ากันกับระยะห่างจากเส้น CENTER ถึงค่า VSWR นั้นบนสเกล VSWR ของเรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์คือ เราสามารถโปรเจคเส้นรัศมีวงกลม VSWR ลงบนมาอ่านค่าสเกล VSWR ข้างล่างได้นั่นเองจากระยะห่างเดียวกันจะสามารถใช้หาค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ของเรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์ได้ และด้วยเหตุนี้สเกลชนิดนี้จึงมีคำว่า เรเดียล (Radially) ซึ่งหมายถึงเส้นรัศมี

ตัวอย่างที่ 22 กำหนดให้สายสัญญาณ 500 โอห์ม ต่อปลายด้วยโหลด ZL =100+j100 โอห์ม จงหาค่า VSWR,SWR (dB),Preturn,Pmismatch , Γ , และ Γ^2

วิธีที่ 1. นอร์มอลไลซ์โหลด ZL แล้วนำไปพล็อตบนสมิธชาร์ต ทำการวาดวงกลม VSWR วัดระยะของเส้นรัศมีวงกลม VSWR สมมติให้เท่ากับ d

$$ZL = 100+100\ \Omega$$

$$= 100/50 + j100/50$$

$$= 2.0+j2.0\ \Omega$$

2. นำระยะ d ไปทาบบนเรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์ โดยเริ่มต้นที่เส้น CENTER ของทุกเส้นสเกล ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.44 อ่านค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังนี้

$$\Gamma = 0.620$$

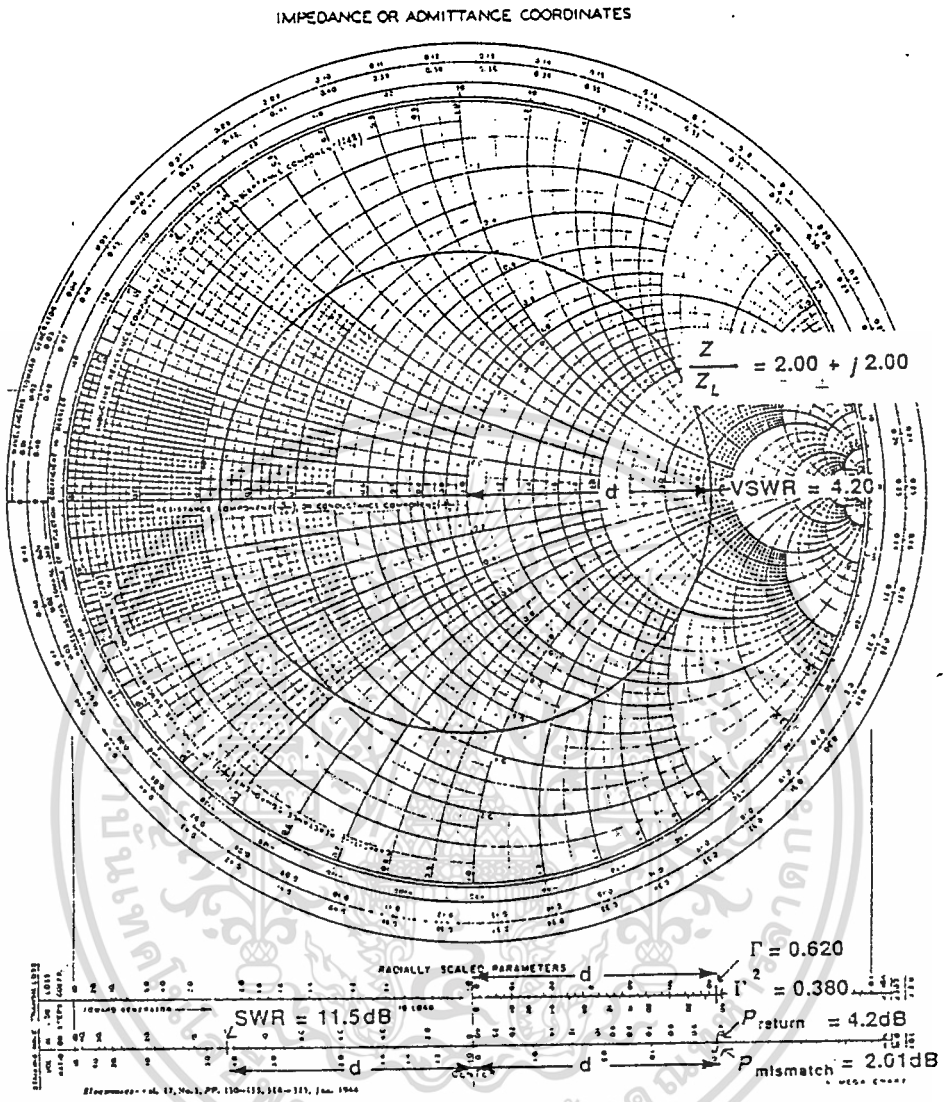
$$\Gamma^2 = 0.380$$

$$SWR = 11.5\ dB$$

$$Preturn = 4.2\ dB$$

$$Pmismatch = 2.01\ dB$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 2.44 การใช้สมิธชาร์ตและเรเดียลลิสเกลพารามิเตอร์

2.6 การสร้างอิมพิแดนซ์สมิธชาร์ต

ในการสร้างแผนภูมินี้ผู้สร้างได้พิจารณาเห็นว่าในกรณีที่สายนำสัญญาณไม่มีการสูญเสีย นั้นค่าอินพุทอิมพิแดนซ์และสัมประสิทธิ์ความต้านทานของการสะท้อนจะเขียนได้ดังสมการที่2.12 และสมการที่ 2.13 ดังนี้

$$Z_{in}(z') = Z_C \frac{Z_L + jZ_C \tan \beta z'}{Z_C + jZ_L \tan \beta z'} \tag{2.12}$$

$$\Gamma(z') = \Gamma_L e^{-2j\beta z'} \tag{2.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถผูกความสัมพันธ์ระหว่าง Zin(z') กับ (z') ได้โดยพิจารณาดังต่อไปนี้ ก่อนอื่นเนื่องจากค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ที่มองเข้าไปจากตำแหน่ง z เป็น zin(z') ซึ่งเปรียบได้เหมือนมีโหลด Zin(z') ต่อยู่ตรง z' และสายนำสัญญาณมีอิมพิแดนซ์ลักษณะสมบัติเป็น Zc ดังนั้นตรงตำแหน่ง z' จะมีสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนอยู่ในรูปต่อไปนี้

$$\Gamma(z') = \frac{Z_{in}(z') - Z_C}{Z_{in}(z') + Z_C} \tag{2.14}$$

และจากสมการที่ 2.14 และสมการที่ 2.13 เราสามารถเขียน Zin (z') ในรูปของ (z') ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Z_{in}(z') &= Z_c \frac{1+\Gamma(z')}{1-\Gamma(z')} \\ &= Z_c \frac{1+\Gamma_l e^{-2j\beta z'}}{1-\Gamma_l e^{-2j\beta z'}} \end{aligned} \tag{2.15}$$

ค่า *Zin(z')* หรือ *Zin(z')* บนระนาบเชิงเส้นธรรมดานั้นไม่สะดวกนัก เพราะว่าค่าขนาดของรีซิสแตนซ์ และค่ารีแอคแตนซ์เปลี่ยนแปลงได้ในช่วงเกินค่าเชิงซ้อน ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้เป็นการชี้ว่าเราสามารถจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง *Zin(z')* กับ *(z')* ลงบนกราฟเดียวกันได้ วิธีสร้างสมิธชาร์ตซึ่งแสดงความสัมพันธ์ซึ่งเป็นตัวแปรเชิงซ้อนในรูปต่อไปนี้

$$\Gamma(z') = re^{j\theta} = u + jv = \frac{\overline{Z}_{in}(z') - 1}{\overline{Z}_{in}(z') + 1} \tag{2.16}$$

โดยที่ $r = |\Gamma(z')|$ และ $\theta = \arg\Gamma_L - 2\beta(z')$ ตามฟังก์ชั่นตามสมการที่ 2.16 นี้เนื่องจาก *Zin(z')* เป็นตัวแปรเชิงซ้อนและ Γ(z') ซึ่งอยู่ในรูปฟังก์ชั่นอันดับหนึ่งจะเห็นได้จากรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไป เมื่อแทนค่า $Zin(z') = R+jX$ ซึ่งแสดงค่า R,X บนระนาบเชิงซ้อนแบบตั้งฉากทั่วไปลงในสมการที่ 2.16 เราจะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างผลที่ได้นี้เป็นสมการวงกลม และทำให้สามารถเขียนเส้นโคงที่ R มีค่าคงที่ X มีค่าคงที่บนระนาบ u,v ได้

$$(u - \frac{\overline{R}}{\overline{R}+1})^2 + v^2 = \frac{1}{(\overline{R}+1)^2} \tag{2.17}$$

$$(u-1)^2 + (v - \frac{1}{\overline{X}})^2 = (\frac{1}{\overline{X}})^2 \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเส้นโค้งทั้งสองนี้จะเป็นวงกลมทั้งคู่ สำหรับตำแหน่งที่ 10 ไปเขียนบนระนาบ u,v ของ Γ โดยคำนึงถึงว่า r จะเล็กกว่า 1 เสมอ รูปวงกลมวงนอกสุดซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ (0,0) และความยาวรัศมีเป็น 1 จะเป็นวงกลมที่ $R = 0$ และในขณะที่ R ค่าใหญ่ขึ้นจากจุดศูนย์กลางจะเลื่อนไปทางขวาบนแกนของ u และความยาวรัศมีจะสั้นลง เมื่อ R ลู่เข้าสู่ ∞

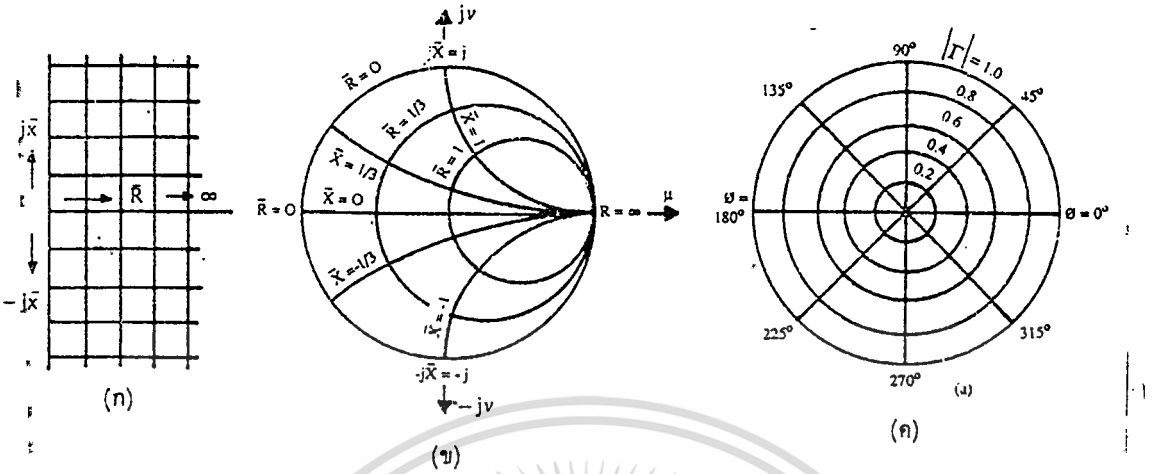
	จุดศูนย์กลาง	ความยาวรัศมี
R คงที่	$(\frac{\overline{R}}{\overline{R}+1},0)$	$(\frac{1}{\overline{R}+1})$
X คงที่	$(1,\frac{1}{\overline{X}})$	$(\frac{1}{\overline{X}})$

ตารางที่ 1 จุดศูนย์กลางและความยาวรัศมีของวงกลม R คงที่ หรือค่า X คงที่

ตารางที่ 1 เขียนได้ว่าจุดศูนย์กลางลู่เข้าหา (1,0) ในขณะที่ความยาวรัศมีลู่เข้าหา 0 สำหรับวงกลมที่ X ค่าคงที่นั้นปรากฏอยู่ภายในวงกลม $|\Gamma| = 1$ เพียงส่วนเดียวซึ่งจุดศูนย์กลางของวงกลมอยู่ที่ (1,∞) และความยาวรัศมีเป็น ∞ ในกรณีของ X เนื่องจากว่าค่ารีแอคแตนซ์เป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบจึงต้องแสดงให้ครบ โดยที่ซีกบนจะเป็นซีกที่ X มีค่าเป็นบวก หมายถึงจุด (0,0) ซึ่งเป็นจุดที่ R = 1 และ X = 0 นั้นเป็นจุดที่โหลดปลายสายแมตซ์ได้พอดีกับสายนำสัญญาณ ซึ่งจะทำให้ $|\Gamma| = 0$

เมื่อพิจารณามุมที่วงกลมที่ R มีค่าคงที่เท่ากับวงกลมที่ X มีค่าคงที่จะเห็นได้ว่ามุมที่เกิดขึ้นเป็นมุมฉากเสมอ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเราได้แสดงค่า Zin แผนภูมิที่ได้นี้เรียกว่าอิมพิแดนซ์สมิธ-ชาร์ตเพราะเป็นสมิธชาร์ตที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพิแดนซ์กับ Γ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ Γ(z') ตามตำแหน่ง Γ(z') นั้นวางวงเวียนไว้ที่จุด (0,0) แล้วกางวงเวียนรัศมี $|\Gamma_L|$ แล้วหมุนตามเข็มนาฬิกาไปจากจุด เท่ากับ $-2\beta(z')$ ไว้ที่ขอบนอกของวงกลม โดยมักแสดงทั้งในรูปของความยาวเชิงไฟฟ้าคือ z' พร้อมทั้งกำกับ Toward Generater ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาซึ่งทำให้ได้ค่า $-2\beta(z')$ และในซีกล่างจะแสดงลูกศรพร้อมทั้งกำกับ Toward Load ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



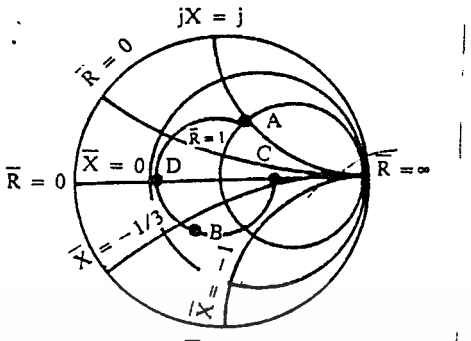
รูปที่ 2.45 การแมปปิ้งระหว่างระนาบ Zin กับระนาบ

ความสัมพันธ์ระหว่าง Γ(z') และ Zin(z') ไว้แบบหนึ่งต่อหนึ่ง ดังนั้นเมื่อเราพล็อตค่า Z_L ที่ปลายสายลงบนสมิธชาร์ตก็จะสามารถอ่านค่าออกมาได้ยกตัวอย่างเช่น ถ้า $Z_L = R_L+jX_L=1+j$ ก็จะสามารถพล็อตค่า Z_L ได้

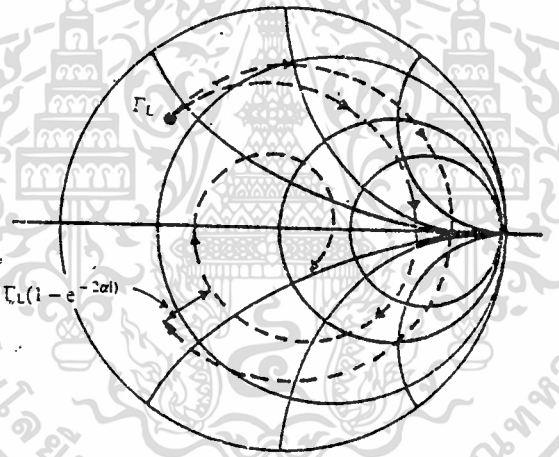
เมื่อต้องการทราบค่า Zin ที่ตำแหน่งห่างจากปลายสายเท่ากับ Γ(z') จะมีค่าเป็นเท่าไร ทำได้โดยการหมุนจุด A ไปในทิศตามเข็มนาฬิกา ซึ่งความยาวเป็น 0.707-j0.707 และถ้าให้ z' = 0.5 เป็นการหมุนจุด A ไปหนึ่งรอบและกลับมาที่เดิม เพราะ $2\beta(z') = 2 \times (2\pi/\lambda_g) \times 0.5\lambda_g = 2\pi$ การที่ Zin กลับมาที่เดิมเมื่อเป็นระยะทาง $\lambda_g/2$ หรือจำนวนลดลงเท่าตัวของ $\lambda_g/2$ แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงของ Zin ตามตำแหน่งของ z' นั้นเป็นฟังก์ชั่นรายคาบและคู่สมิธชาร์ตที่ได้กล่าวมานี้นอกจากจะแสดงการทรานสฟอร์มของค่า Zin ตามตำแหน่งของ z' แล้วยังสามารถใช้ในการอ่านค่า VSWR ได้ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้จากสมการ (1+ΓL)/(1-ΓL) ซึ่งคือค่า VSWR นั่นเอง ดังนั้นถ้าต้องการรู้ค่า VSWR เมื่อมีโหลด ZL ต่ออยู่ที่ปลายสายดังตัวอย่างในรูปที่ 2.45 ก็จะทำได้โดยการหมุนจุด SWR เป็น 2.64 อันที่จริงจุดที่ตัดแกนนอนตรงตำแหน่ง C นี้เป็นจุดที่เกิด *Vmin* และ *Imax* บนคลื่นยืนและตรงตำแหน่งทั้งสองนี้ค่า Zin จะมีค่าจริงโดยจะมี (1+ΓL)/(1-ΓL) และ (1-ΓL)/(1+ΓL) ตามลำดับ

ในกรณีที่จำเป็นต้องคำนึงถึงการสูญเสียในสายนำสัญญาณนั้นเนื่องจากขนาดของ Γ จะเล็กลงในรูป $e^{-2\alpha(z')}$ เมื่อห่างจากปลายสายมากขึ้นทำให้การเปลี่ยนแปลงของ Γ(z') ตามตำแหน่ง z' จะเล็กลงจะทำให้ค่า VSWR เล็กลงตามไปด้วยและทำให้ดูเหมือนว่ามีการแมตช์อิมพิแดนซ์ที่ดี ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องระวังในภาคปฏิบัติ

เอกสารนี้ใช้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.46 การอ่านค่าอิมพิแดนซ์ที่ตำแหน่งต่างๆ จากสมิธชาร์ต



รูปที่ 2.47 การเปลี่ยนแปลงของ (z')ในกรณีที่สายนำสัญญาณมีการสูญเสีย

2.7 แอดมิตแตนซ์สมิธชาร์ต

แอดมิตแตนซ์สมิธชาร์ตคือ สมิธชาร์ตที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง (z') กับค่าอินพุทแอดมิตแตนซ์ที่นอร์มอลไลซ์ไว้คือ Yin (z') การสร้างแอดมิตแตนซ์สมิธชาร์ตนั้น ก่อนอื่นค่า Γ_L จะเขียนได้เป็น

$$\Gamma_L = \frac{\bar{Z}_L - 1}{\bar{Z}_L + 1} = \frac{1 - \bar{Y}_L}{1 + \bar{Y}_L} \tag{2.19}$$

ในทำนองเดียวกัน $\Gamma(z')$ จะเขียนอยู่ในรูปของ Yin (z') ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Gamma(z') = \frac{1-\overline{Y}_{in}(z')}{1+\overline{Y}_{in}(z')} \tag{2.20}$$

และ Yin (z') จะเขียนอยู่ในรูปของ Γ(z') ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Y_{in}(z') &= \frac{1-\Gamma(z')}{1+\Gamma(z')} \\ &= \frac{1-\Gamma_L e^{-2j\beta(z')}}{1+\Gamma_L e^{-2j\beta(z')}} \end{aligned} \tag{2.21}$$

ตามสมการ 2.20 Γ(z') จะอยู่ในรูปของการทำแมปปิ้งแบบมุมเท่าของ Yin(z') เมื่อเราเขียน Yin (z') = G+jB บนระนาบเชิงซ้อนแบบตั้งฉาก ผลการแมปปิ้ง จะได้เป็นวงกลมเช่นเดียวกับในกรณีของอิมพิแดนซ์สมิธชาร์ต ความยาวรัศมีจะหาได้ดังนี้

$$\Gamma(z') = re^{j\theta} = u + jv = \frac{1-\overline{Y}in(z')}{1+\overline{Y}in(z')} \tag{2.22}$$

$$(u+\frac{\overline{G}}{1+\overline{G}})^2 + v^2 = (\frac{1}{1+\overline{G}})^2 \tag{2.23}$$

$$(u+1)^2 + (v+\frac{1}{\overline{B}})^2 = (\frac{1}{\overline{B}})^2 \tag{2.24}$$

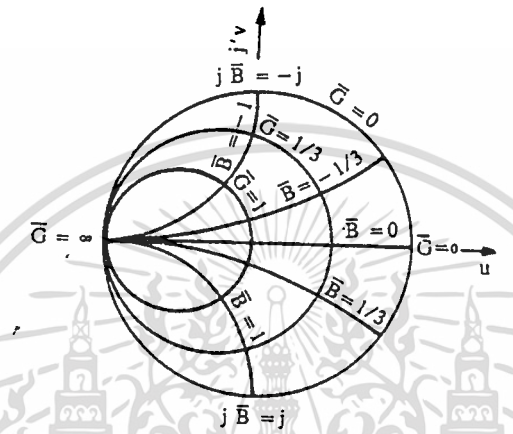
	จุดศูนย์กลาง	ความยาวรัศมี
ค่า G คงที่	$-(\frac{\overline{G}}{1+\overline{G}},0)$	$\frac{1}{1+\overline{G}}$
ค่า B คงที่	$(-1,\frac{-1}{\overline{B}})$	$\frac{1}{\overline{B}}$

ตารางที่ 2 จุดศูนย์กลางและความยาวรัศมีของวงกลมที่มีค่า G คงที่หรือค่า B คงที่

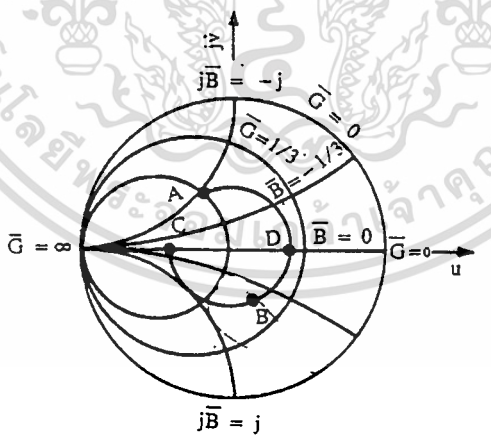
ตามสมการ 2.21 และสมการ 2.22 จะเป็นสมการวงกลมซึ่งมีจุดศูนย์กลางและความยาวรัศมีตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 เพื่อนำสมการทั้งสองนี้ไปเขียนบนระนาบ u,v ของ Γ นั้นจะผ่านจุดศูนย์กลางของของสมิธชาร์ตสำหรับทางด้านค่า B นั้นเส้นตรงบนแกน u แอตมิตแตนซ์ สมิธชาร์ตจะแสดงการเปลี่ยนแปลงของ Yin ไปตามตำแหน่งของ z' แล้วยังใช้ในลงบนแอตมิต-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตนซ์สมิธชาร์ต ที่จุด z' = /4 ก็จะได้จุด B ซึ่งเป็นการหมุนจุด A ไปครึ่งรอบสำหรับตำแหน่งที่ตัดแกน u ที่จุด C นั้นค่า Yin จะค่าเป็นจริงและมีค่า Yin ที่จุด C จะเท่ากับ $(1+\Gamma_L)/(1-\Gamma_L)$ ซึ่งเท่ากับค่า VSWR และมีตำแหน่ง C นี้ซึ่งจะเป็นตำแหน่งที่เกิด Imax และ Vmin บนคลื่นยืน ในขณะที่จุด D จะเกิดImax.และ Vmin บนคลื่นยืน



รูปที่ 2.48 แอดมิตแตนซ์สมิธชาร์ต



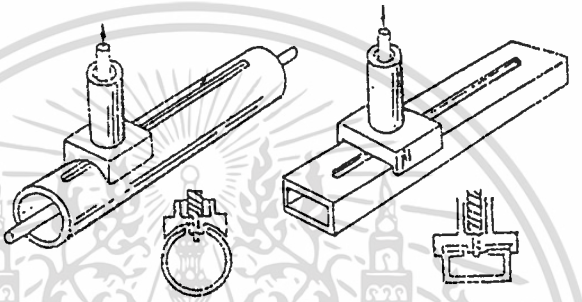
รูปที่ 2.49 การทรานสฟอร์มค่า Yin บนแอดมิตแตนซ์สมิธชาร์ต และการอ่านค่า VSWR

2.8 การวัดอิมพิแดนซ์โดยใช้สล็อตไลน์และสมิธชาร์ต

สล็อตไลน์ (slotted line) เป็นเครื่องมือแบบดั้งเดิมที่ใช้ในการวัดค่า VSWR และค่าอิมพิแดนซ์ของโหลด ถึงแม้ในปัจจุบันจะมีเครื่องวัดประเภทเครื่องวัดวิเคราะห์วงกลมยังคงมีใช้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันโครงสร้างและหลักการของสล็อตไลน์จะเป็นดังต่อไปนี้ก่อนอื่นโครงสร้างของสล็อตไลน์นั้นจะเหมือนกับสายนำสัญญาณที่ใช้อยู่ในระบบ เช่นถ้าใช้สายแบบโคแอกเชียลก็จะเป็นท่อนำคลื่นด้วยรูปที่ 2.49 แสดงรูปของสล็อตไลน์ทั้งสองแบบ สล็อตไลน์จะอาศัยการเจาะช่องแคบๆเป็นแนวยาวตามแกนเพื่อยื่นโพรบเข้าไปตามช่องแคบๆ นั้นแล้ว ให้สัมพันธ์กับขนาดของคลื่นยืน ตรงตำแหน่งนั้นแบบหนึ่งต่อหนึ่ง ดังนั้นจากการเลื่อนโพรบไปตามแนวแกนก็สามารถจะอ่านค่าคลื่นยืนออกมาได้ซึ่งจะหมายถึง จะรู้ตำแหน่งสูงสุดและที่ทำการวัดไปยังโหลดปลายสายก็สามารถที่จะใช้สมิธชาร์ตในการหาค่าโหลดที่ปลายสายได้



รูปที่ 2.50 สมิธชาร์ตแบบสายโคแอกเชียลและแบบท่อนำคลื่น

เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนขึ้นกรณีใช้สล็อตไลน์วัดค่าคลื่นยืนแล้วซึ่งอ่านค่า $\lambda g/2$ = 20 cm, VSWR = Vmax/Vmin = 3.0/2.0 = 1.5 จากค่า VSWR คำนวณค่า

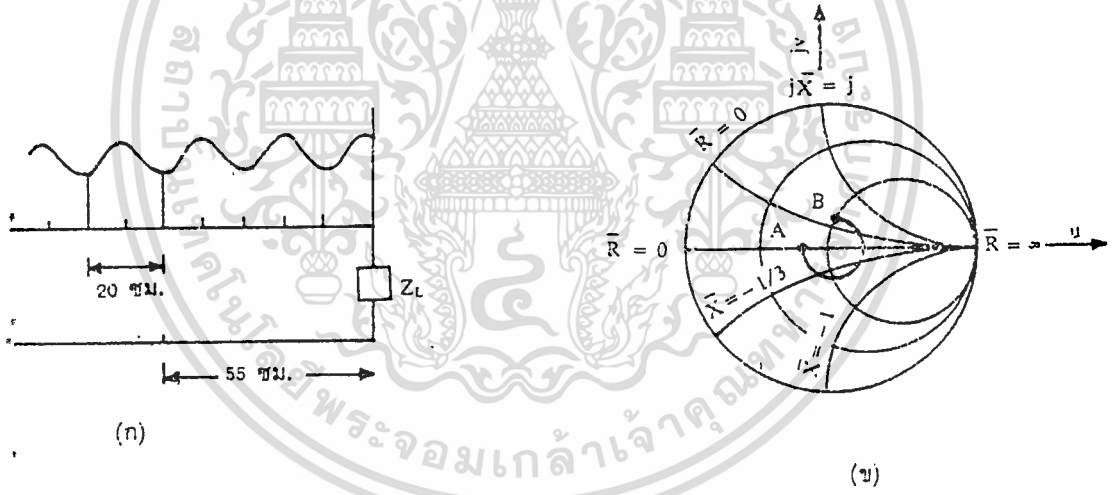
$$|\Gamma L| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} = \frac{1.5-1}{1.5+1} = 0.2$$

และเนื่องจากตำแหน่งที่เกิดจุดต่ำสุด หรือ V-min บนคลื่นยืนนั้นเป็นตำแหน่งที่เฟสจะมีค่าเป็น 180 องศา ดังนั้นเราจะสามารถพล็อตค่าตรงตำแหน่งจุดต่ำสุดนี้ได้

ซึ่งพิจารณาว่าจากจุดต่ำสุดบนสล็อตไลน์ไปยังปลายสายเป็น 55 ซม.ในขณะที่ความยาวคลื่นเป็น 40 ซม. ดังนั้นถ้าสมมติให้ความยาวคลื่นในสล็อตไลน์และในสายโคแอกเชียลมีการหมุนค่า Γ จากจุด A เข้าหาโหลดคิดเป็นความยาวไฟฟ้าเท่ากับ $(55/40)\lambda g = \lambda g + 0.375\ \lambda g$ ซึ่งก็คือหมุนจุด A ทวนเข็มนาฬิกาไป 2 รอบกับอีก 0 อิมพีแดนซ์ของโหลด ถ้าสายโคแอกเชียลเป็น 50 โอห์มอิมพิแดนซ์ของโหลดก็จะเป็น ZL= (0.92+j0.36) x 50 = 46+j18 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างข้างบนนี้ที่เป็นเช่นนั้น ทั้งนี้เนื่องจากสล็อตไลน์นั้นต้องให้โพรับยื่นลงไปโดยไม่รบกวนสภาพของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในและโพรับต้องเลื่อนไปมาในแนวแกนได้ จึงต้องใช้อากาศคั่นระหว่างกลางทั่วไปนั้นใช้สารไดอิเล็กตริกคั่นระหว่างโลหะในกับโลหะนอกซึ่งทำให้ความยาวคลื่นในสายโคแอกเชียลสั้นลงกว่าความยาวคลื่นในสายอากาศ และความยาวเชิงกายภาพของสายกับความถี่ เราไม่สามารถจะรู้ความยาวคลื่นในสายโคแอกเชียล หรือความยาวเชิงไฟฟ้าของสายโคแอกเชียลที่ถูกต้องจะไม่สามารถหมุนมุมของ Γ ได้อย่างถูกต้องโดยเฉพาะถ้าความยาวของสายโคแอกเชียลนั้นก็จะทำให้การคำนวณความยาวเชิงไฟฟ้าคลาดเคลื่อนไปได้มากซึ่งก็จะทำให้หมุนมุม Γ ผิดไปจากค่าที่ควรจะเป็นและผลก็คือทำให้ได้ค่า ZL ที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงเนื่องจากการวัดค่าในสายโคแอกเชียลเป็นสิ่งที่ยุ่งยาก ดังนั้นในการจะวัดอิมพิแดนซ์ของโหลดที่ปลายสายโดยใช้สล็อตไลน์นั้น เราจะใช้วิธีอ้างอิงจากจุดต่ำสุดที่เกิดขึ้นในกรณีที่ปลายสายลัดวงจร



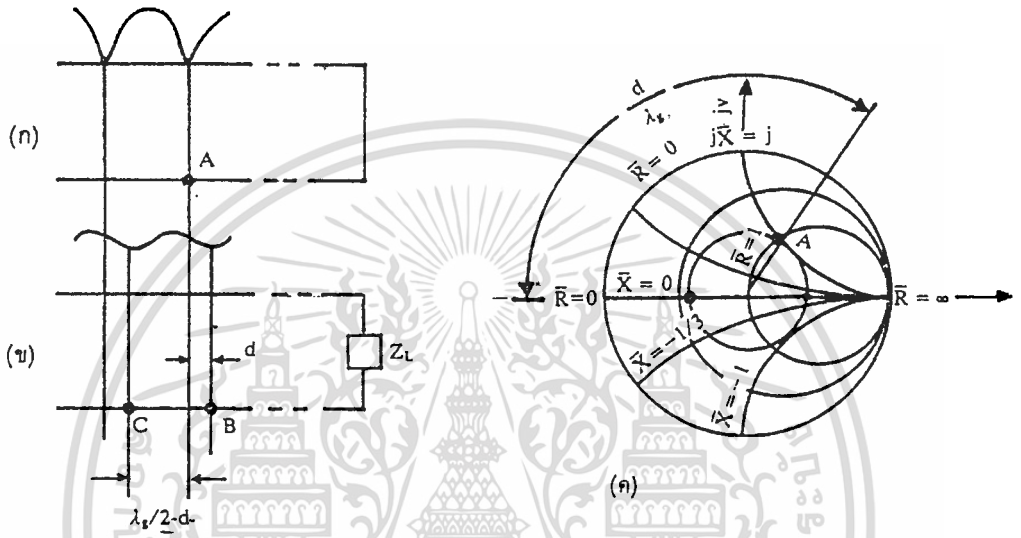
รูปที่ 2.51 ผลการวัดคลื่นยืนโดยใช้สล็อตไลน์และการหาอิมพิแดนซ์โดยใช้สมิธชาร์ต

ทีนี้เราไม่จำเป็นต้องรู้ความยาวคลื่นที่ถูกต้องในสายโคแอกเชียลเพราะจะใช้การอ้างอิงจุดต่ำสุดที่เกิดขึ้นในสล็อตไลน์ ขั้นตอนในการวัดจะเป็นดังนี้คือ ก่อนอื่นลัดวงจรปลายสายตรงตำแหน่งที่ต่อโหลดแล้วใช้สล็อตไลน์ตรวจหาตำแหน่งจุดต่ำสุดบนคลื่นยืนของกรณีนี้พร้อมทั้งวัดความยาวคลื่นในสล็อตไลน์นั้นเอาไว้ สมมติให้คลื่นยืนที่วัดได้และจุดต่ำสุดที่ใช้อ้างอิงคือจุด A ขั้นตอนต่อไปจะทำการเปลี่ยนจากสายลัดวงจรเป็นโหลดที่ต้องการวัด

คือค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดและตำแหน่งที่เกิดค่าต่ำสุดที่อยู่ใกล้กับจุด A มากที่สุดคือจุด B และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

คือค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดและตำแหน่งที่เกิดค่าต่ำสุดที่อยู่ใกล้กับจุด A มากที่สุดคือจุด B และจุด C ถ้าให้ระยะระหว่างจุด A และ B เป็น d จะได้ระยะห่างระหว่างจุด A และ C เป็น (λ_g/2-d) ความยาวคลื่นไปอยู่ที่จุด A ซึ่งอินพุทอิมพิแดนซ์ที่มองจากจุด A จะเท่ากับอิมพิแดนซ์ของโหลด ในกรณีที่เราพล็อตค่าที่จุด C การหมุนเข้าหาจุด A จะต้องหมุนเข้าหาโหลดด้วยความยาวเท่ากับ d/(λ_g) ความยาวคลื่นที่จุดเดียวกันบนสมิธชาร์ต



รูปที่ 2.52 การอ้างอิงจุดต่ำสุดของกรณีปลายสายลัดวงจร

จากการที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าวิธีที่อาศัยจุดอ้างอิงของกรณีปลายสายลัดวงจรนี้ให้ความสะดวกในการใช้งานเป็นอย่างยิ่ง เพราะเราไม่จำเป็นต้องรู้ความยาวคลื่นในสายโคแอกเชียล วิธีนี้เป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวัดอิมพีแดนซ์ของโหลดด้วยสล็อตไลน์โดยทั่วไป

2.9 การแมทช์อิมพิแดนซ์โดยใช้ชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์

เมื่อพิจารณาบนสมิธชาร์ตตรงตำแหน่งที่แมทช์อิมพิแดนซ์ได้นั้นค่า Zin จะต้องอยู่ตรงจุดศูนย์กลางของสมิธชาร์ต ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไม่มีการสะท้อนกลับของคลื่นคือ Γ=0 ดังนั้นการแมทช์อิมพีแดนซ์จึงเป็นการดึงค่า ZL เข้ามาอยู่ที่จุดศูนย์กลางของสมิธชาร์ต ในการแมทช์อิมพิแดนซ์นั้นเนื่องจากเราไม่ต้องการให้เกิดการสูญเสียกำลังในชิ้นส่วนวงจรที่นำมาช่วยในการแมทช์ จึงใช้ชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์เป็นหลักชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์ ถ้าเป็นชิ้นส่วนแบบลัมป์ (Lumped component) จะมีขนาดเล็กใช้งานสะดวกแต่จะมีข้อเสียก็คือ ค่า Q (quality facter) มักจะต่ำ ซึ่งหมายถึงการสูญ

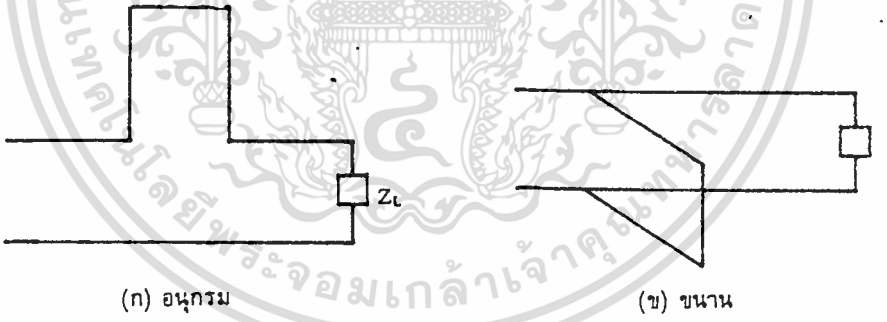
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังสูง ดังนั้นในกรณีที่ต้องการค่า Q สูงจึงมักใช้งานต่างๆได้โดยการปรับความยาวของสตับ ก่อนอื่นจะกล่าวถึงการแมตช์อิมพิแดนซ์โดยใช้สตับชุดเดียวหลังจากนั้นจะกล่าวถึงการแมตช์ โดยใช้สตับ 2 ชุด และการแมตช์โดยใช้ชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์แบบลัมป์

2.9.1 การแมตช์อิมพิแดนซ์โดยใช้สตับชุดเดียว

สตับนั้นถึงแม้โดยหลักการจะต่อเข้ากับสายนำสัญญาณได้ทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน ดังที่แสดงไว้ในรูป 2.53 แต่โดยทั่วไปการต่อแบบขนานจะมีความสะดวกแน่นอนกว่าในที่นี้จะขออธิบายโดยใช้สตับที่ต่อแบบขนานเป็นหลักและสมิธชาร์ตที่ใช้เป็นเครื่องมือนั้นก็จะเป็นแอดมิตแตนซ์สมิธชาร์ตซึ่งจะให้ความสะดวกมากกว่า

ถ้าให้ค่าแอดมิตแตนซ์ของโหลดพล็อตได้เป็นจุด A ดังในรูปที่ 2.54 ขั้นตอนการแมตช์ก็คือทำการหมุนจุด A เข้าหาเครื่องส่งไปตัดวงกลมที่มีค่าคอนดัคแตนซ์เป็น 1 ซึ่งมีจุดตัด 2 จุดคือ จุด B และจุด C ดังในรูปจากนั้นอ่านค่าความยาวจากปลายสาย z1 หรือ z2 ในกรณีที่ใช้จุด B และจุด C ตามลำดับ ตำแหน่ง z1 หรือ z2 นี้เป็นตำแหน่งที่ต่อสตับเพื่อดึงจุด B หรือจุด C เข้าหาจุด O ในกรณีที่เลือกใช้จุด B นั้น การดึงจุด C นั้น สตับที่ใช้มีค่าซัสเซฟแตนซ์เป็น +jb หลังจากที่อ่านค่าซัสเซฟแตนซ์ของสตับได้จากสมิธชาร์ตแล้วก็สามารถนำไปคำนวณความยาวของสตับได้โดยใช้สมการ 2.25 ความยาวที่คำนวณได้



รูปที่ 2.53 การต่อสตับแบบอนุกรมและแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\ell = \frac{\lambda_g}{2\pi}\cot^{-1}(\bar{b}) \qquad (2.25)$$

$$\ell = \frac{\lambda_g}{2\pi}\cot^{-1}(-\bar{b}) \qquad (2.26)$$

โดยที่ λ_g เป็นความยาวคลื่นในสตับ

วิธีแมทช์อิมพิแดนซ์โดยใช้สตับชุดเดียวที่กล่าวมานี้เป็นวิธีที่ง่ายแต่มีข้อเสียที่ไม่มีความยืดหยุ่นกล่าวคือตำแหน่งที่ต้องต่อสตับนั้นจะต้องห่างจากปลายสายเท่ากับ Z1+n(λg/2) หรือ Z2+n(λg/2) เสมอโดยที่ n เป็นตัวเลขจำนวนเต็มลงแล้ว เงื่อนไขดังกล่าวนี้อาจสร้างความยุ่งยากในภาคปฏิบัติได้

2.9.2 การแมทช์อิมพีแดนซ์โดยใช้สตับ 2 ชุด

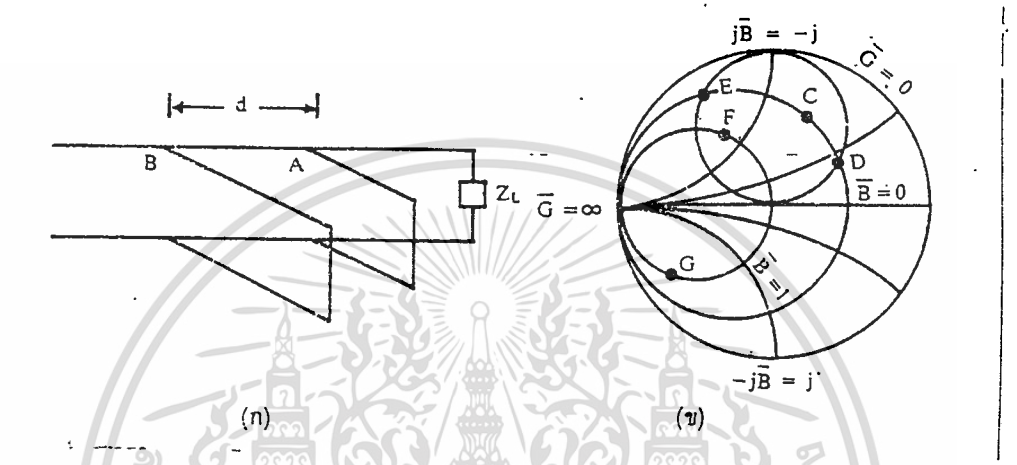
การแมทช์อิมพีแดนซ์โดยใช้สตับ 2 ชุด จะทำให้มีความยืดหยุ่นมากเมื่อเทียบกับการใช้สตับชุดเดียว เมื่อเรานำสตับขนาน 2 ชุด ที่วางห่างกัน d ต่อคั่นระหว่างโหลดกับเครื่องส่งดังในรูปหลักการในการแมทช์ที่ตรงตำแหน่ง B ซึ่งเป็นตำแหน่งของสตับชุดที่ 2 ค่าอินพุทแอดมิตแตนซ์ตรงตำแหน่งนั้นต้องอยู่บนวงกลมที่มีค่าคอนดัคแตนซ์เป็น 1 ทั้งนี้เพื่อให้สามารถใช้สตับชุดที่สองนี้ในการดึงค่าอินพุทแอดมิตแตนซ์เข้าหาจุด O ดังนั้นที่จุด A วงกลมมีค่าคอนดัคแตนซ์เป็น 1 จะหมุนเข้าหาโหลดเป็นระยะทาง d ดังรูป ที่แสดงแอดมิตแตนซ์สมิธชาร์ตของกรณีที่ให้ d=3(λg/8) .ในที่นี้สมมติให้อินพุทแอด มิตแตนซ์ที่จุด A เป็นจุด C ในสมิธชาร์ตสตับที่จุด A จะทำหน้าที่เลื่อนจุด G ไปตามวงกลมที่มีค่าคอนดัคแตนซ์คงที่แล้วไปตัดวงกลมดังกล่าวที่จุด D หรือจุด E เมื่อวงกลมนี้หมุนจากจุด F ใน G ตามลำดับ สตับที่จุด B ก็จะทำหน้าที่ดึงจุด F หรือจุด G ไปยังจุด O การดึงจุด F ให้มาที่จุด O นั้นค่าซัสเซฟแตนซ์ทของสตับจะต้องมีค่าเป็นบวกเพื่อหักล้างค่าซัสเซฟแตนซ์ที่มีค่าเป็นลบที่จุด F สำหรับการดึงจุด G ไปยังจุด O นั้น ค่าซัสเซฟแตนซ์ของสตับจะต้องเป็นลบ และการคำนวนความยาวของสตับแต่ละชุดนั้นจะทำได้เช่นเดียวกับกรณีก่อนหน้านี้คือใช้สมการ 2.17 หรือ 2.18

2.9.3 การแมทช์อิมพิแดนซ์โดยใช้ชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์แบบลัมป์

สตับถึงแม้จะมีคุณสมบัติในเชิงที่มีค่า Q สูง แต่ถ้าความถี่ที่ใช้งานต่ำ เช่น ถ้าอยู่ในช่วง MF ถึง HF การสร้างสตับจะทำได้ไม่ง่ายนักเพราะความยาวคลื่นมากกว่า 10 เมตรขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้ การแมทช์ช์อิมพิแดนซ์ในวิธีนี้จะมีการต่อชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์เข้ากับสายนำสัญญาณทั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบลัมป์เนื่องจากการแมทช์อิมพีแดนซ์วิธีนี้จะมีการต่อชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์เข้ากับสายนำสัญญาณทั้งแบบขนานและแบบอนุกรมร่วมกันไป นั่นหมายถึงถ้าใช้สมิธชาร์ตในการแสดงการเปลี่ยนแปลงของแอดมิตแตนซ์ชาร์ต และอิมพิแดนซ์ชาร์ตไปพร้อมกัน จากความต้องการดังกล่าวนี้ทำให้มีการสร้างชาร์ตทั้งสองซ้อนกันอยู่บนชาร์ตเดียวกันและเรียกชาร์ตที่เกิดขึ้นนี้ว่า อิมมิตแตนซ์ชาร์ต (immittance chart)



รูปที่ 2.55 การใช้สตับ 2 ชุด ในการแมทช์ช์อิมพิแดนซ์

รูปที่ 2.56 การแมทช์อิมพิแดนซ์โดยใช้ชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์แบบลัมป์และการใช้แอดมิต-แตนซ์ชาร์ต

เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนจะขอยกตัวอย่างการแมทช์ช์อิมพิแดนซ์ของสายอากาศที่มีค่าอิมพิแดนซ์เป็น 150+j150 โอห์ม เข้ากับสายนำสัญญาณที่มีค่าอิมพิแดนซ์ลักษณะสมบัติเป็น 75 โอห์ม ดังที่แสดงไว้ในรูป เมื่อเรานำค่าอิมพีแดนซ์ที่นอร์มอลไลซ์มาแล้วไปพล็อตบนแอดมิต-แตนซ์ชาร์ต ก็จะได้เป็นจุด A ซึ่งมีค่า Z = 2 + j2 และได้ค่า Y = 0.25 - j0.25 เมื่อเราใช้แอดมิต-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-แตน์ชาร์ต เราจะมองเห็นได้ทันทีว่าวิธีที่จะแมทช์อิมพิแดนซ์ได้วิธีหนึ่งก็คือ การดึงจุด A ไปตามวงกลมที่มีค่าคอนดัคแตนซ์คงที่ไปยังจุด B ซึ่งเป็นจุดที่อยู่บนวงกลมที่มีค่า R เท่ากับ 1 จากนั้นก็ทำการเลื่อนจุด B ไปตามวงกลมที่มีค่า R=1 ไปยังจุด O การเลื่อนจุด A ไปยังจุด B นั้นสามารถทำได้โดยใช้ค่าซัสเซฟแตนซ์ที่ค่าเป็นบวกต่อขนานกับสายนำสัญญาณ ซึ่งก็คือการนำชิ้นส่วนคาปาซิแตนซ์ต่อขนานกับสายนำสัญญาณ สำหรับการเลื่อนจุด B ไปยังจุด O นั้นจะทำได้โดยการใช้ค่ารีแอคแตนซ์ที่เป็นบวกต่ออนุกรมเข้ากับสายนำสัญญาณก็คือการนำชิ้นส่วนอินดัคแตนซ์ต่ออนุกรมเข้ากับสายนำสัญญาณดังแสดงไว้ในรูป สำหรับการหาสัญญาณต่อไป ถ้าให้ค่าซัสเซฟแตนซ์ที่ต้องการเป็น b เราจะสามารถคำนวณค่าคาปาซิแตนซ์ได้ดังนี้

$$\omega C = \bar{b} Y_C$$

$$C = \frac{\bar{b} Y_C}{\omega} = \frac{\bar{b} Y_C}{2\pi f} \tag{2.27}$$

โดยที่ Yc = 1/Zc เป็นค่าแอดมิตแตนซ์ลักษณะสมบัติของสายนำสัญญาณ ในทำนองเดียวกันถ้าให้ค่ารีแอคแตนซ์ที่ต้องใช้เป็น X เราจะสามารถคำนวณค่าอินดัคแตนซ์ที่จำเป็นต้องใช้ได้ดังนี้

$$\omega L = \bar{X} Z_C$$

$$L = \frac{\bar{X} Z_C}{\omega} = \frac{\bar{X} Z_C}{2\pi f} \tag{2.28}$$

ในกรณีตัวอย่างนั้น เนื่องจากค่า Y ที่จุด B เป็น 0.25+j0.43 ดังนั้นค่าซัสเซฟแตนซ์ที่จำเป็นต้องใช้ต้องเท่ากับ 0.43+0.25 = 0.68 ถ้าให้ความถี่ที่ใช้เป็น 1 MHz

$$C = \frac{0.68}{2\pi \times 10^6 \times 75} = 1440 pF$$

ในทำนองเดียวกันเนื่องจากค่า Z ที่จุด B เป็น 1.0-j1.73 ดังนั้นค่า X จะเท่ากับ 1.73 จากสมการ 2.28 จะคำนวณค่า L ได้ดังนี้

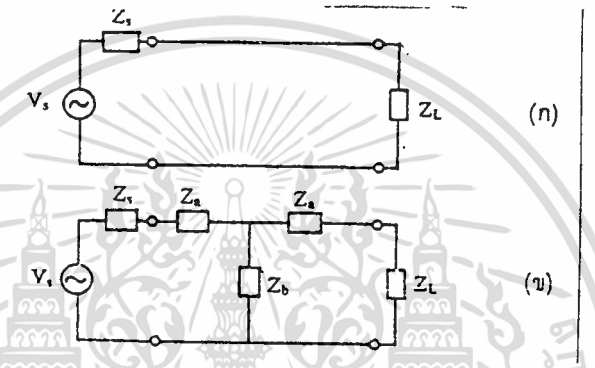
$$L = \frac{1.73 \times 75}{2\pi \times 10^6} = 20.6 \mu H$$

จากคำอธิบายและตัวอย่างการคำนวณที่กล่าวมาแล้วเราจะเห็นว่าอิมมิตแตนซ์ชาร์ตเป็นเครื่องมือให้ความสะดวกมากในการแมทช์อิมพิแดนซ์ในกรณีจะต้องต่อชิ้นส่วนรีแอคแตนซ์เข้ากับสายนำสัญญาณทั้งแบบอนุกรมและขนานร่วมกันไปวิธีนี้ถูกนำไปใช้ในการแมทช์อิมพีแดนซ์ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ซึ่งจำเป็นต้องใช้ชิ้นส่วน L,C ในการแมทช์อิมพิแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 วงจรสมมูลย์แบบ 2 พอร์ตของสายนำสัญญาณ

ในการใช้สายนำสัญญาณในบางโอกาสนั้นเช่น การนำสัญาณแบบไมโครสตริปมาต่อกันแบบแคสเคด เพื่อสร้างฟิลเตอร์นั้น ถ้าเรารู้ค่าลัมป์พารามิเตอร์ (lumped-parameter) ของสัญญาณที่ต่อคั่นระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณกับโหลดนั้น สามารถเขียนให้อยู่ในรูปวงจรสมมูลย์แบบ 2 พอร์ตรูปตัว T และรูปตัว π ถ้าให้ค่าอิมพิแดนซ์ Za และ Zb ในวงจรสมมูลย์รูปตัว T เป็นค่าดังต่อไปนี้เราจะพบว่าอินพุทอิมพิแดนซ์ที่มองจากพอร์ตที่ 1 เหมือนกับสมการ 2.23



รูปที่ 2.57 วงจรสมมูลย์ของสายนำสัญญาณ

$$Z_a = Z_c \tanh\frac{\gamma\ell}{2}$$
$$Z_b = \frac{Z_c}{\sinh\gamma\ell} \qquad (2.29)$$

ในกรณีที่สายนำสัญญาณนั้นไม่มีการสูญเสียสมการที่ 2.29 จะเปลี่ยนเป็นดังนี้

$$Z_a = jZ_c \tan\frac{\beta\ell}{2}$$
$$Z_b = \frac{-jZ_c}{\sin\beta\ell} \qquad (2.30)$$

ในทำนองเดียวกันถ้าให Ze และ Zf ในวงจรสมมูลย์รูปตัว π มีค่าดังต่อไปนี้ก็ จะได้ค่าอินพุทอิมพิแดนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_e = Z_c \sinh \gamma \ell$$
$$Z_f = Z_c \coth \frac{\gamma \ell}{2} \tag{2.31}$$

และในกรณีที่สายนำสัญญาณที่สายนำสัญญาณไม่มีการสูญเสียสมการ2.31จะเขียนได้ในรูปต่อไปนี้

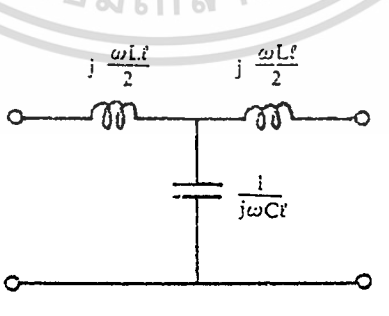
$$Z_e = jZ_c \sin \beta \ell$$
$$Z_f = -jZ_c \cot \frac{\beta \ell}{2} \tag{2.32}$$

สิ่งที่ต้องระวังในการใช้ค่าลัมป์พารามิเตอร์ตามสมการที่งหมดที่กล่าวมานี้นั้นก็คือ ค่า Za, Zb,Ze และ Zf ทั้งหลายนี้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่เพราะ γ และ β มีค่าเปลี่ยนไปตามความถี่ สำหรับกรณีที่ความถี่ใช้งานแคบ ๆ อาจประมาณค่าลัมป์พารามิเตอร์ทั้งหลายนี้โดยใช้ค่า γ และ β ที่ความถี่ศูนย์กลางของแถบความถี่ใช้งานนั้น

กรณีพิเศษที่น่าสนใจกรณีหนึ่งคือกรณีที่ความยาว ℓ สั้นมาก ๆ เมื่อเทียบกับ $\lambda g/4$ ในกรณีเช่นนี้วงจรสมมูลย์รูปตัว T จะสามารถประมาณค่า Za และ Zb ได้ในรูปต่อไปนี้

$$Z_a \sim jZ_c \frac{\beta \ell}{2} \sim j \frac{\omega L \ell}{2}$$
$$Z_b \sim \frac{-jZ_c}{\beta \ell} \sim \frac{1}{j\omega C \ell} \tag{2.33}$$

ทั้งนี้ให้ $Zc = \sqrt{\frac{L}{C}}$ และ $\beta = \omega\sqrt{\frac{L}{C}}$ เมื่อนำผลที่ได้นี้ไปเขียนวงจรสมมูลย์จะเป็นดังรูป



รูปที่ 2.58 วงจรสมมูลย์ของสายนำสัญญาณกรณีที่ $\ell << \lambda g/4$ คอมพิวเตอร์กราฟฟิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2.11 คอมพิวเตอร์กราฟฟิค

2.11.1 ความหมายของกราฟฟิค

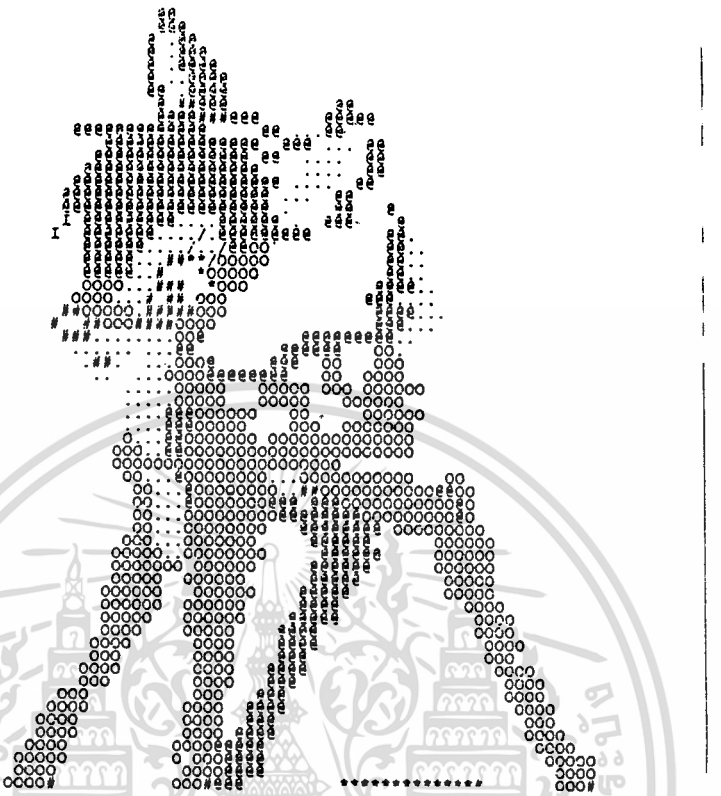
คำว่ากราฟฟิคหลายๆ คนคงเคยได้ยิน และคงพอรู้ความหมายคร่าวๆ บ้างแล้วตามรูปศัพท์ ของมันคำว่ากราฟฟิคมาจากรากศัพท์คำว่า "กราฟ" (Graph)ทำให้บางคนนึกถึงรูปกราฟต่างๆ ยิ่งการใช้คอมพิวเตอร์มาแสดงกราฟเท่านั้นแต่หมายรวมถึง การใช้คอมพิวเตอร์ในการทำงานเกี่ยวกับรูปภาพทุกแบบซึ่งเทคนิคการสร้างภาพนั้นมีหลายวิธีด้วยกัน แม้กระทั่งการนำเอาตัวอักษรหลาย ๆ แบบมาประกอบเป็นรูปภาพก็ถือว่าเป็นงานทางด้านกราฟฟิคได้ด้วยเช่นกันดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 2.59

การใช้อักษรมาสร้างรูปภาพนั้นเป็นจุดเริ่มต้นของคอมพิวเตอร์กราฟฟิคทั้งนี้เพราะขีดความสามารถของอุปกรณ์ในสมัยก่อนมีขีดจำกัดคือสามารถแสดงผลได้เพียงแค่ตัวอักษรในการคำนวณทางด้านวิทยาศาสตร์เป็นหลักต่อมามีผู้ให้ความสนใจที่จะนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งานในการวาดภาพจึงมีผู้คิดค้นขึ้นและพัฒนาอุปกรณ์ที่มีขีดความสามารถในการพัฒนาไปไกลมากต่างจากสมัยแรกอย่างสิ้นเชิง ปัจจุบันนี้เราสามารถใช้คอมพิวเตอร์กราฟฟิคสร้างสรรค์ผลงานทั้งทางด้านศิลปะ อุตสาหกรรม และการศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น ใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบ Computer Aid Instruction และที่พบเห็นและรู้จักกันมากที่สุดก็คือ โปรแกรมเกมส์คอมพิวเตอร์ จะเห็นว่าทุกวันนี้คอมพิวเตอร์กราฟฟิคมีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น

2.12 ฮาร์ดแวร์

การที่คอมพิวเตอร์สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพที่สวยงามออกมานั้นเป็นเพราะว่าได้มีการพัฒนาฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ให้มีขีดความสามารถมากขึ้นและพัฒนาซอฟแวร์กราฟฟิคให้มีคุณภาพดี ในส่วนนี้กล่าวถึงลักษณะทางด้านฮาร์ดแวร์ของของระบบคอมพิวเตอร์กราฟฟิคที่ควรทราบซึ่งประกอบไปด้วย จอภาพ อุปกรณ์พิมพ์ภาพ เครื่องสแกน และตัวเครื่องคอมพิวเตอร์หรือเวอร์คสเตชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.59 การใช้ตัวอักษรมาประกอบกันเป็นรูปภาพ

2.12.1 จอภาพ

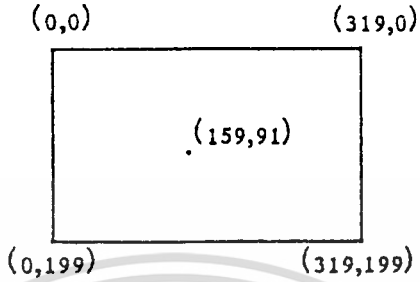
จอภาพเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากที่สุด เพราะเป็นส่วนที่แสดงภาพออกมาให้เห็นว่าภาพที่เกิดมีลักษณะอย่างไร จอภาพอาจถูกแบ่งออกตามลักษณะการสร้างภาพก็ได้ 2 ชนิดคือ

จอภาพแบบราสเตอร์

จอภาพแบบนี้มีลักษณะเป็นจุดเล็กๆ เรียงกันทั่วทั้งจอภาพ (รูปที่ 2.60) จุดเล็กๆเหล่านี้เรียกว่า พิกเซล (Pixel) ถ้าเราสามารถขยายภาพให้มีขนาดใหญ่มากๆ เราจะให้มีขนาดใหญ่มากๆ จากฟิล์มขนาดเล็กๆ เราจะเห็นภาพเหล่านั้นมีลักษณะเป็นจุดๆ พิกเซลบนจอภาพก็คือจุดสีต่างๆเหล่านี้เองภาพที่ปรากฏบนจอภาพได้ต้องอาศัยการกำหนดยิ่งมีความเล็กเท่าไรภาพก็ยิ่งคมมากขึ้นเท่านั้น ตัวอย่างของจอภาพแบบราสเตอร์นั้น ได้แก่ จอโมโนโครม และจอสี เช่น CGA (Color Graphic Adapter) ที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป เมื่อรู้จักพิกเซลแล้วสิ่งที่คู่กันมาก็คือ ความละเอียดของภาพด้วย (Resolution) จอภาพแบบราสเตอร์จะกำหนดความละเอียดของจอภาพด้วย จำนวนจุดในแนวนอนและแนวตั้ง ดังในตัวอย่างรูปที่ 2.60 มีความละเอียดของจอภาพเท่ากับ 320 x 200 จอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่มีความละเอียดสูงจะมีราคาแพง เพราะต้องทำให้พิกเซลมีขนาดเล็ก ผลิตได้ยากและต้องใช้หน่วยความจำ



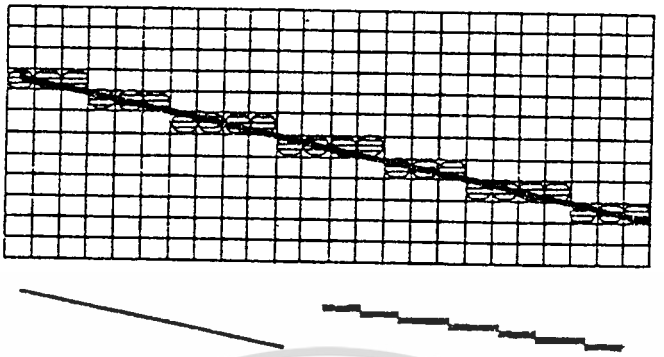
รูปที่ 2.60 ความละเอียดของภาพ

จอภาพแบบราสเตอร์นี้จะมีหน่วยความจำส่วนหนึ่งเรียกว่า เฟรมบัฟเฟอร์ (Frame Buffer) เฟรมบัฟเฟอร์จะเก็บแอตตริบิ้วของแต่ละพิกเซลบนจอเอาไว้ เช่นจอโมโนโครมและมีหน่วยความจำในการเก็บแอตตริบิ้วของมันเพียงแค่ 1 บิท (0=ดำ 1= ขาว เท่านั้น บนจอสีบางแบบแอตตริบิ้วจะประกอบด้วยความเข้มและสีของแต่ละพิกเซลจึงต้องใช้หน่วยความจำหลายบิตต้องมีเฟรมบัฟเฟอร์ขนาดใหญ่ดังนั้นจอภาพที่มีความละเอียดสูงจึงมีราคาแพง เพราะจะต้องมีหน่วยความจำขนาดใหญ่สำหรับเก็บแอตตริบิ้วของแต่ละพิกเซล

ในอดีตการทำจอภาพมีปัญหาเรื่องราคา เพราะว่าแต่ก่อนนั้นหน่วยความจำมีราคาแพงมาก ผู้ผลิตจอภาพแบบราสเตอร์นั้นจึงค้นหาวิธีที่จะลดเฟรมบัฟเฟอร์ลง โดยให้จอภาพมีลักษณะแล้วพิกเซลนั้นจะคงสภาพตามที่กำหนดไว้ได้เองด้วยคุณสมบัติทางกายภาพของมัน เช่นกำหนดให้พิกเซลหนึ่งเป็นจุดแสงสีเหลือง พิกเซลนั้นก็ยังคงเป็นจุดแสงสีเหลืองตลอดไป

นอกจากปัญหาเรื่องขนาดของเฟรมบัฟเฟอร์แล้ว ปัญหาอีกประการหนึ่งของจอภาพแบบราสเตอร์ก็คือการเกิด อลิแอสซิ่ง (Aliasing) ลักษณะของอลิแอสซิ่งก็คือ ลักษณะที่เส้นต่าง ๆ ที่ปรากฏบนจอไม่ราบเรียบ เนื่องจากนำจุดมาประกอบเป็นภาพจุดสีดำที่ประกอบกัน จะเห็นได้ว่าเส้นตรงนี้มีความแตกต่างจากเส้นตรงที่เราต้องการวาดมากถ้าจุดยิ่งมีขนาดใหญ่มากขึ้นความขรุขระของเส้นก็จะยิ่งมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 2.61 การเกิดอลิแอสซิ่ง (Aliasing)

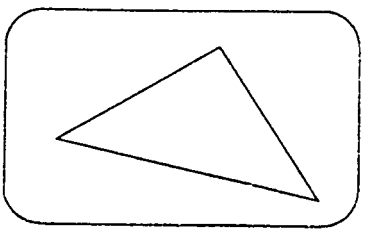
การแก้ปัญหาของอลิแอสซิ่งที่พื้นฐานที่สุดก็คือ การทำให้พิกเซลมีขนาดเล็กลง เพราะว่าเมื่อพิกเซลมีขนาดเล็กลง ขอบของเส้นหรือภาพที่มีลักษณะขรุขระก็จะเรียบขึ้นและต้องการ

จากการศึกษาพบว่า ถ้าจุดในการสร้างภาพมีขนาดเล็กกว่า 1/300 นิ้ว (300 จุด ต่อ นิ้ว) ตาของคนเราจะไม่สามารถที่จะมองเห็นได้ นั่นคือไม่สามารถการเกิดอลิแอสซิ่ง

จอภาพแบบเวคเตอร์

จอภาพแบบเวคเตอร์ มีความหมายทางวิทยาศาสตร์ว่า ปริมาณใดๆ ก็ได้ที่มีทั้งขนาด และทิศทางการแทนเวคเตอร์นั้นจะใช้เส้นตรงซึ่งแนวทางการวางตัวของเส้นตรงจะวางไปตามแนวของทิศทางกราฟฟิค หมายถึงส่วนของเส้นตรงที่มีความยาวจำกัด จอภาพแบบเวคเตอร์จึงหมายถึง จอภาพที่แสดงผลข้อมูลแบบเวคเตอร์กล่าวคือภาพที่เกิดขึ้นบนจอภาพประกอบไปด้วยเวคเตอร์หลายๆ เวคเตอร์ 3 เวคเตอร์ประกอบกันทำให้เกิดรูปสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.62 ตัวอย่างภาพจากจอภาพแบบเวคเตอร์

ในระบบคอมพิวเตอร์กราฟฟิคเรากำหนดเวคเตอร์หรือเส้นตรงได้ด้วยจุดปลายทั้งสองของเส้นตรงในระบบกราฟฟิคมีความสามารถสูงเราอาจสามารถเลือกลวดลายของเส้นตรงได้ด้วยเช่น เป็นเส้นทึบ เส้นประ หรือขนาดความหนาของเส้นตรง

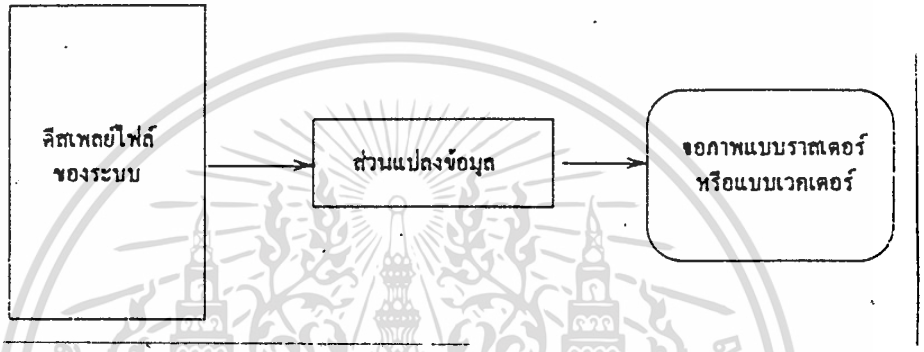
การสร้างเวคเตอร์หนึ่งเวคเตอร์จะถือว่าเป็นคำสั่ง 1 คำสั่งภาพต่างๆ ที่ปรากฏบนจอภาพเกิดจากเวคเตอร์หลายเวคเตอร์ประกอบกันคำสั่งของเวคเตอร์เหล่านี้จะถูกเก็บเอาไว้ในหน่วยความจำ ภายในเฟรมบัฟเฟอร์ ซึ่งจะเก็บค่าแอตตริบิ้วของแต่ละพิกเซลบนจอภาพ ซึ่งข้อมูลในเฟรมบัฟเฟอร์เป็นข้อมูลของภาพที่ปรากฏบนจอ แต่ว่าดิสเพลย์ไฟล์จะเก็บคำสั่งของการวาดภาพแทน ดิสเพลย์ไฟล์ที่กล่าวมานี้เป็นดิสเพลย์ไฟล์ ของจอภาพ คำว่าดิสเพลย์ไฟล์ยังอาจหมายถึง ดิสเพลย์ไฟล์ของระบบคอมพิวเตอร์ สร้างภาพไว้ จอภาพไม่ได้ใช้ข้อมูลที่เก็บไว้ในดิสเพลย์ไฟล์ของระบบนี้แสดงภาพออกมาโดยตรง ข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำส่วนนี้จะถูกแปลงเป็นข้อมูลที่จอภาพสามารถนำไปใช้

ข้อเสียหลักของจอภาพแบบเวคเตอร์ก็คือการแสดงภาพพื้นผิวที่ถูกระบายสีต้องใช้เวคเตอร์จำนวนมากประกอบกันเพื่อเติมพื้นผิวที่ต้องการระบายนั้นการสร้างภาพจึงต้องประกอบด้วยคำสั่งจำนวนมากเพราะคำสั่งหนึ่งคำสั่งทำให้เกิดเส้นขึ้นหนึ่งเส้น การสร้างพื้นที่ที่ถูกระบายสีจะต้องเกิดจากเส้นตรงหลายๆ เส้นมาเรียงติดกันจนเกิดพื้นผิวทึบดังแสดงใน รูปที่ 2.64 เพื่อที่จะให้เข้าใจถึงปัญหาอีกประการหนึ่งของจอภาพแบบเวคเตอร์ จำเป็นต้องเข้าใจหลักการทำงานของจอภาพแบบรังสีคาโถด (Cathod Ray Tube) ในรูปที่ 2.65

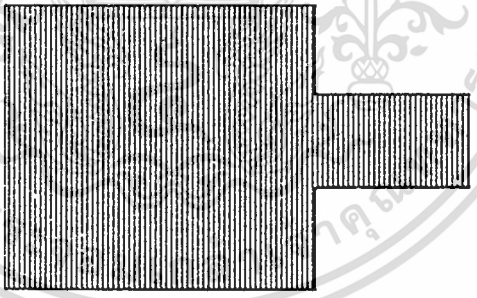
ภายในจอภาพจะเป็นสูญญากาศปืนอิเล็กตรอนจะปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาอันเนื่องมาจากการเร่งด้วยแรงดันสนามไฟฟ้าแรงสูงอิเล็กตรอนจะวิ่งไปชนผนังของหลอดภาพอีกด้านที่ผนังอิเล็กตรอนที่วิ่งไปชน แต่มันจะเกิดแสงเพียงชั่วระยะเวลาเพียงสั้นๆคือ 1/1000 วินาทีแล้วแสงก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดับไป ดังนั้นถ้าต้องการจะให้ภาพปรากฏคงอยู่บนจอภาพโดยไม่มีการสูญหายไป จำเป็นจะต้องบังคับให้ยิงอิเล็กตรอนไปตกกระทบบริเวณเดิมซ้ำๆ ให้เร็วมากพอที่จะไม่ทำให้ภาพจะไม่เลือนหายไป หรืออาจจะมีการเลือนหายไปในช่วงเวลาสั้นๆ โดยตาของคนเราไม่สามารถสังเกตเห็นได้ การบังคับให้อิเล็กตรอนไปรีเฟรชภาพหรือ อัตราการรีเฟรช (Refresh rate) ที่เหมาะสมคือ 48 ครั้งต่อวินาที ที่อัตรานี้ตาของคนเราจะไม่สังเกตเห็นการกระพริบของภาพ ดังนั้นอัตราการเกิดภาพซ้ำจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 48 ภาพต่อวินาที



รูปที่ 2.63 ดิสเพลย์ไฟล์ของระบบ

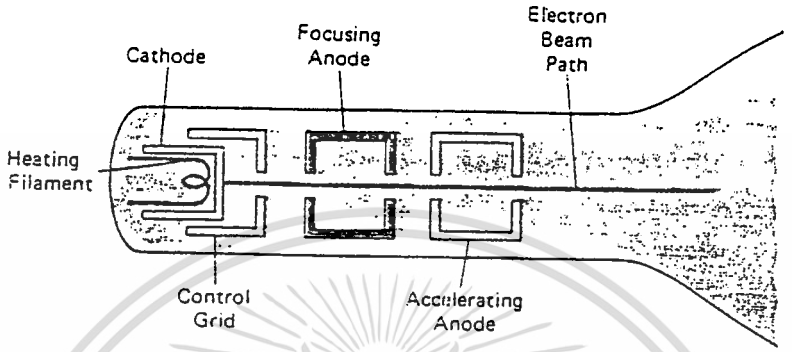


รูปที่ 2.64 การสร้างพื้นที่ที่ถูกระบายสีบนจอภาพแบบเวคเตอร์

สมมติว่าภาพที่เกิดบนจอภาพเกิดจากเวคเตอร์ 1000 เวคเตอร์ มาประกอบกันเป็นภาพในดิสเพลย์ไฟล์ก็จะมีคำสั่งอยู่ 1000 คำสั่งสำหรับ 1000 เวคเตอร์นี้ดิสเพลย์โปรเซสเซอร์จะผลิดภาพบนจอภาพ รูปที่ 2.66 แต่ว่าต้องให้มีการภาพซ้ำกัน 48 ภาพใน 1 วินาที ดังนั้นอัตราการทำงานของดิสเพลย์โปรเซสเซอร์คือ 1000 X 48 เท่ากับ 48000 คำสั่งต่อวินาที จะเห็นการทำงานของดิส-เพลย์โปรเซสเซอร์ แต่ในความเป็นจริงแล้ว ประสิทธิภาพของจอภาพไม่ได้อยู่ที่ความเร็วของดิส-เพลย์โปรเซสเซอร์ในช่วงที่มีการผลิตจอภาพแบบเวคเตอร์ เราสามารถผลิตโปรเซสเซอร์ที่มีความ

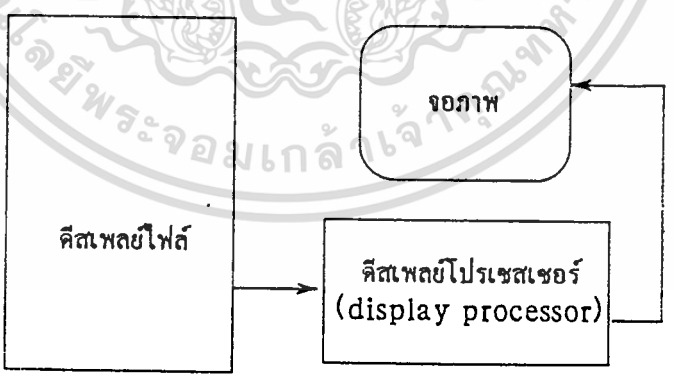
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เร็วในการทำงานได้มากถึง 1 ล้านคำสั่งต่อวินาที (Million Instructions per second,MIPS) สามารถรองรับดิสเพลย์ไฟล์ที่เก็บคำสั่งได้สูงสุดประมาณ 40 กิโลไบท์เพื่อเก็บคำสั่งต่างๆ เหล่านั้นในช่วงเวลานั้นหน่วยความจำมีราคาสูงมาก ถ้าสร้างจอภาพที่มีหน่วยความจำมากถึง 40 กิโลไบท์ก็จะทำให้จอภาพมีราคาสูงไปด้วย



รูปที่ 2.65 ลักษณะของจอภาพแบบรังสีคาโถด

จากการที่กล่าวมาจะเห็นว่าหน้าที่ของดิสเพลย์ไฟล์ก็คือ เก็บคำสั่งไว้สำหรับดิสเพลย์โปรเซสเซอร์ทั้งนี้เพราะจะต้องมีการรีเฟรชจอภาพนั่นเอง ดิสเพลย์โปรเซสเซอร์จะต้องมีดิสเพลย์ไฟล์และเฟรมบัฟเฟอร์ว่า รีเฟรชบัฟเฟอร์(Refresh Buffer) ต่อไปก็จะกล่าวถึงวิวัฒนาการในการสร้างจอภาพแบบต่างๆ โดยเริ่มจากจอภาพที่เป็นแบบ CRT ก่อน



รูปที่ 2.66โครงสร้างของจอภาพแบบเวคเตอร์

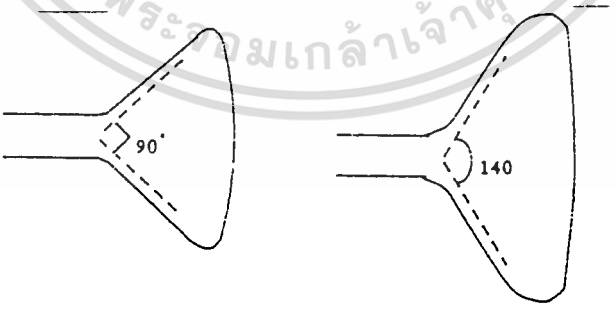
Vecter Refresh Display เป็นจอภาพแบบเวคเตอร์ที่มีการทำงานเหมือนกับจอภาพแบบ CRT ที่กล่าวมาแล้วคือ มีดิสเพลย์ไฟล์ สำหรับเก็บคำสั่งในการสร้างภาพและรีเฟรช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Direct View Storage Tube (DVST) เป็นจอภาพแบบเวคเตอร์เช่นกันเพื่อแก้ปัญหาที่ดิสเพลย์ไฟล์มีขนาดจำกัดอันเนื่องมาจากหน่วยความจำมีราคาแพง จอภาพแบบนี้มีลักษณะการทำงานเหมือนกับรูปที่ 2.66 แต่ภาพที่เกิดขึ้นบนจอภาพจะไม่เลือนหาย จึงหายไปก็คือการรีเซทจอภาพใหม่ ภาพทั้งหมดบนจอภาพก็จะหายไป ข้อเสียของจอภาพแบบนี้ก็คือ จะลบส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพออกไม่ได้จะต้องลบออกทั้งหมดและสามารถแสดงผลได้เพียงสีเดียวและระดับความเข้มเพียงระดับเดียว

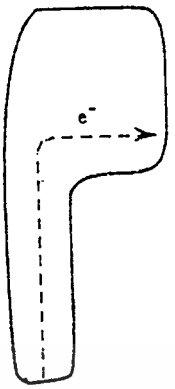
Flat CRT เป็นจอภาพที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดขนาดของเครื่องโดยปกติในการผลิตจอภาพมุมที่โคนหลอดภาพจะมีขนาดประมาณ 90 องศา ดังนั้นถ้าต้องการจอภาพขนาดใหญ่ตัวเครื่องก็จะมีขนาดใหญ่ แต่ขนาดมุมของโคนหลอดภาพที่โตที่สุดทำได้เพียง 140 องศาเท่านั้นทำให้ขนาดของตัวเครื่องไม่ลดลงมากนักเมื่อหลอดภาพมีขนาดใหญ่ค่าใช้จ่ายในการผลิตก็สูงเพราะต้องใช้หลอดแก้วที่มีความหนาพอที่จะทนแรงอัดของอากาศภายนอกไปด้วย จอภาพแบบ Flat CRT จึงถูกพัฒนาขึ้นจนสามารถลดขนาดของจอภาพลงได้มากโดยอาศัยการเบี่ยงเบนลำอิเล็กตรอนด้วยสนามแม่เหล็ก ทำให้หลอดภาพมีรูปทรงที่ผิดแผกไปจากเดิมดังในรูปที่ 2.67 ส่งผลให้จอภาพขนาดใหญ่มีราคาถูก ขนาดของเครื่องเล็ก น้ำหนักเบา และสิ้นเปลืองไฟฟ้าน้อยลง

Raster Scan Display เป็นจอภาพแบบราสเตอร์ที่ใช้หลักการของจอ CRT มีเฟรมบัฟเฟอร์ที่ใช้สำหรับการรีเฟรชและเก็บแอตตริบิ้วของแต่ละพิกเซลจอภาพบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งจะเป็นแบบ Raster Scan Display เช่น โมโนโครม CGA(Color Graphics Adapter),EGA (Enhance Graphic Adapter)เป็นต้น



รูปที่ 2.67 ลักษณะของหลอดภาพ CRT

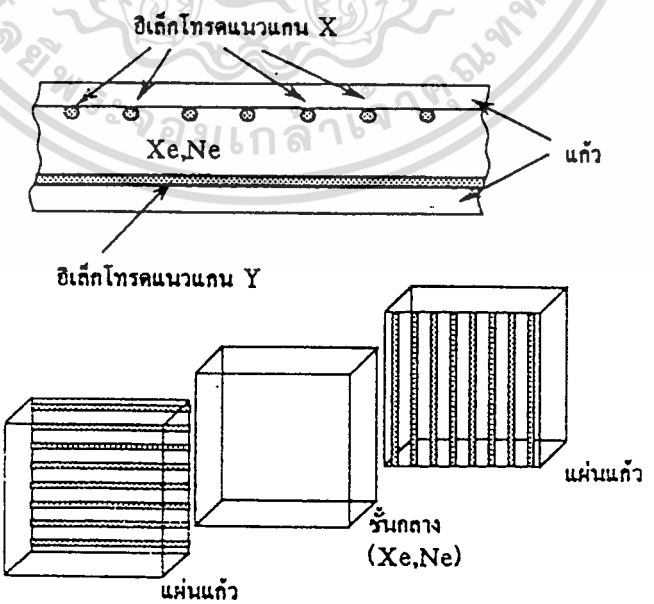
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 2.68 ลักษณะของหลอดภาพของจอแบบ Flat CRT

นอกจากประเภทของหลอด CRT แล้วยังมีการพัฒนาจอภาพแบบอื่นๆอีกคือ จอภาพประเภทราบเรียบ(Flat Panel Display) จอภาพประเภทนี้หน้าจอจะแบนราบไม่โค้งมีน้ำหนักเบาขนาดเล็กและไม่สิ้นเปลืองไฟฟ้าน้อยลง เหมาะที่จะใช้กับเครื่องเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์พกพา

จอ PDP (Plasma Display Panel) เป็นจอภาพแบบราสเตอร์ ประกอบด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่น ประกบกันที่แผ่นแก้วมีอิเล็กโทรดเล็กๆวางเรียงใกล้ชิดกันมากช่องว่างตรงกลางระหว่างแผ่นแก้วบรรจุก๊าซนีออน หรือซีนอน ความละเอียดของภาพจะขึ้นอยู่กับจำนวนอิเล็กโทรดที่วางอยู่ในแนวแกน X และแกน Y จุดตัดของอิเล็กโทรดในแนวแกน X กับแกน Y จะเป็นตำแหน่งของพิกเซล



รูปที่ 2.69 ลักษณะของจอ PDP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในจะเกิดการอาร์ค(Arc) ขึ้นที่ระดับแรงดันไฟฟ้าประมาณ 120 โวลท์ และการอาร์คจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ถ้าแรงดันไฟฟ้าไม่ต่ำกว่าค่าๆหนึ่ง (ประมาณ 90 โวลท์) การที่จะทำให้พิกเซลสว่างขึ้น โดยป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าที่อิเล็กโทรดทั้งสองแกนตามตำแหน่งของพิกเซลนั้น ๆ ให้มีความต่างศักย์ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสองแกนเท่ากับ 120 โวลท์ ก๊าซนีออนบริเวณนั้นจะเกิดการอาร์คขึ้นทำให้เกิดแสงสว่างเป็นจุด หลังจากนั้นรักษาระดับความต่างศักย์ของอิเล็กโทรดไว้ประมาณ 90 โวลท์ จุดพิกเซลนั้นจะสว่างตลอดเวลา ถ้าต้องการให้พิกเซลนั้นหยุดเปล่งแสงก็เพียงแค่หยุดป้อนแรงดันของอิเล็กโทรดทั้งสองแสงของการอาร์คที่ตำแหน่งพิกเซลนั้นก็จะดับลง จะเห็นว่าจอภาพแบบนี้มี Memory Effect เกิดขึ้นด้วยจึงไม่จำเป็นต้องมีเฟรมบัฟเฟอร์

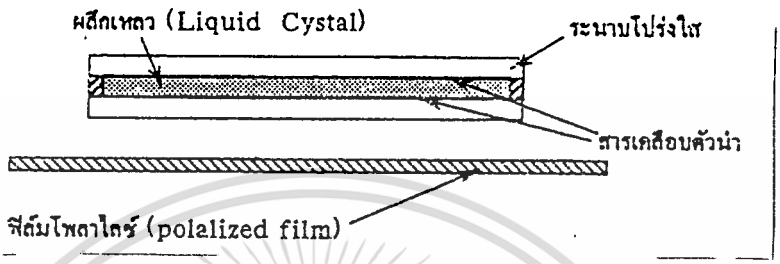
จอ EL (Electroluminescent display) จอภาพชนิดนี้มีลักษณะคล้ายกับจอ PDP แต่ว่าตรงชั้นกลางระหว่างแผ่นกระจกทั้งสองจะไม่บรรจุก๊าซ แต่จะใช้โลหะผสมของซัลไฟด์ (Sulfide) กับแมงกานีส (Manganese) การเกิดจุดบนจอของแต่ละพิกเซลไม่ได้เกิดจากความต่างศักย์ไฟฟ้าของอิเล็กโทรดในแนวนอนและแนวตั้งแต่เกิดจากการปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลเข้าในอิเล็กโทรดในตำแหน่งและทิศทางที่เหมาะสม สนามไฟฟ้าอันเนื่องจากการไหลของกระแสไฟฟ้านี้ทำให้เกิดจุดบนจอภาพ สีของจอชนิดนี้จะเป็นสีส้ม

จอ LCD (Liquid Crystal Display) จอภาพแบบนี้สามารถพบเห็นได้ทั่วไปเช่นบนนาฬิกาข้อมือที่เป็นดิจิตอล เกมส์กดของเด็กๆ เป็นต้น การเกิดภาพอาศัยคุณสมบัติของผลึกเหลว (Liquid Crystal) และหลักการของแสงเข้าช่วย โดยเริ่มจากการที่แสงจากภายนอกผ่านแผ่นฟิล์มโพลาไลซ์ แสงที่ผ่านฟิล์มโพลาไลซ์จะมีระนาบของคลื่นเพียงระนาบเดียวผลึกเหลวจะเป็นตัวสะท้อนแสงให้กลับออกมาในระนาบเดิมผ่านฟิล์มโพลาไลซ์อีกครั้ง แล้วเข้าตาของผู้มองซึ่งจะเห็นจุดนั้นเป็นสีขาวเพราะมีแสงผ่านทะลุ แต่ถ้าป้อนศักดาไฟฟ้าให้แก่ผลึกเหลวตัวมันจะมีคุณสมบัติคล้ายผลึก มันจะเปลี่ยนระนาบของแสงที่สะท้อนจากตัวมัน ทำให้แสงไม่สามารถเดินทางผ่านแผ่นฟิล์มออกมาได้ ผู้มองก็จะเห็นจุดนั้นเป็นสีดำ ข้อเสียของจอ LCD คือต้องอาศัยแสงรอบข้างทำให้เห็นภาพไม่ให้เกิดการเรืองของแสงฟอสเฟอร์หรือสารอื่น ๆ ภายในจอภาพเอง ดังนั้นเราไม่สามารถใช้จอภาพ LCD ในบริเวณมืดและภาพที่เกิดขึ้นจากจอประเภทนี้สามารถมองเห็นได้เพียงบางมุมเท่านั้นเพราะแสงของภาพเป็นแสงโพลาไลซ์และต้องใช้เฟรมบัฟเฟอร์ประกอบด้วย ข้อดีคือกินไฟน้อยมากและน้ำหนักเบา

จอ EPD (Electrophoretic Display) จอแบบนี้คล้ายกับจอ PDP และ EL แต่สารที่อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นกระจกคือ อนุภาคของเม็ดสีที่มีประจุไฟฟ้าอยู่ อาศัยการป้อนกระแสไฟฟ้าเข้าที่ขั้วอิเล็กโทรดเกิดสนามไฟฟ้าซึ่งจะผลักดันให้อนุภาคของเม็ดสีที่มีประจุไฟฟ้าวิ่งไปชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นกระจกและเกิดเป็นจุดสีขึ้น คุณสมบัติที่เด่นของจอ EPD คือมี Memory effect อยู่ในตัวมันเอง เมื่อเกิดจุดสีขึ้นบนจอแล้วไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าในทิศทางที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้ามกับกรณีที่ทำให้เกิดจุดสีสนามไฟฟ้านี้จะผลักดันให้เกิดอนุภาคของเม็ดสีหลุดออกไป



รูปที่ 2.70 โครงสร้างของจอ LCD

2.12.2 อุปกรณ์การพิมพ์ภาพ (Hard-Copy Device)

ในระบบคอมพิวเตอร์กราฟฟิค การสร้างภาพให้เกิดบนจอภาพแต่เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอแก่ความต้องการในการใช้งานบ่อยครั้งภาพที่นำมาปรากฏบนจอถูกนำมาพิมพ์ลงบนวัสดุจึงเป็นสิ่งจำเป็นในระบบคอมพิวเตอร์กราฟฟิคพอๆ กับจอภาพ อุปกรณ์พิมพ์ภาพมีมากมายหลายชนิด แต่เราต้องการเลือกอุปกรณ์พิมพ์ภาพมาใช้งานก็ควรคำนึงถึงสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้ด้วย

- ความเร็วในการผลิต
- ความละเอียดของภาพที่เกิดขึ้น(Resolution)
- ความเที่ยงตรง แม่นยำ(Accuracy) ในการสร้างภาพ
- ค่าใช้จ่ายในการผลิตภาพ 1 ภาพ
- ปริมาณหรือจำนวนของภาพที่คาดว่าจะผลิตออกมา

อุปกรณ์พิมพ์ภาพสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

ปริ้นเตอร์(Printer)

ผู้ใช้คอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่จะรู้จักปริ้นเตอร์ การใช้งานทั่วๆ ไปของปริ้นเตอร์ที่พบเห็นจะเป็นงานการพิมพ์ตัวอักษร เช่น พิมพ์หนังสือ จดหมาย หรือรายงานเป็นต้น ปริ้นเตอร์ในยุคแรกๆ เหมือนกับจอภาพคือพิมพ์ได้แต่ตัวอักษรเท่านั้น ถ้าต้องการพิมพ์รูปภาพก็ต้องใช้ตัวอักษรต่างๆ มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบกันเป็นรูปภาพแต่ในปัจจุบันนี้คอมพิวเตอร์สามารถพิมพ์งานทางด้านกราฟฟิคที่มีคุณภาพสูงได้ ปริ้นเตอร์แบ่งออกตามการทำงานได้ 2 แบบ คือ

ปริ้นเตอร์แบบเคาะ (Impact printer) ภาพที่เกิดจากปริ้นเตอร์ประเภทนี้การเคาะแม่พิมพ์ตัวอักษรผ่านผ้าหมึกลงบนกระดาษ หรือเคาะเข็มเล็กๆ หลายๆ เข็ม ผ่านผ้าหมึกจนเกิดเป็นจุดขึ้นประกอบกันเป็นภาพหรือตัวอักษรบนกระดาษด้านหลังตัวอย่างที่เห็นของปริ้นเตอร์ได้แก่ปริ้นเตอร์แบบดอตแมทริก (Dotmatrix Printer) เป็นต้น

ปริ้นเตอร์แบบไม่เคาะ(Nonimpact printer) ภาพที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดจากการเคาะแม่พิมพ์หรือเคาะแม่พิมพ์หรือเข็มผ่านผ้าหมึกลงบนกระดาษ แต่เกิดจากการใช้วิธีการแบบอื่นทำให้เกิดภาพ เช่น ฉีดหมึกลงบนกระดาษ หรือใช้ความร้อนกับกระดาษชนิดพิเศษ เพื่อให้เกิดภาพหรือตัวอักษร เป็นต้น ตัวอย่างของปริ้นเตอร์ชนิดนี้ได้แก่ เลเซอร์ปริ้นเตอร์

2.13 ซอฟแวร์

การพัฒนาระบบฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งจอภาพ ทำให้เกิดความแตกต่างกันในอุปกรณ์แต่ละชนิด อุปกรณ์ชนิดหนึ่งๆ จะต้องใช้ชุดคำสั่งโดยเฉพาะของมันเอง จึงเป็นสิ่งที่ต้องใช้ระบบคอมพิวเตอร์กราฟฟิคอย่างมาก ถ้าผู้ใช้ที่เคยใช้อุปกรณ์หนึ่งจะเปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์อีกชนิดหนึ่ง จำเป็นต้องศึกษาคำสั่งและลักษณะโครงสร้างของอุปกรณ์ชนิดใหม่นั้น นอกจากนี้การเขียนโปรแกรมมักจะเจาะจงให้ใช้ได้กับอุปกรณ์ชนิดนั้นๆ เพียงชนิดเดียว ทำให้ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาระบบกราฟฟิคจึงสูงมาก เพื่อตัดปัญหาอันยุ่งยาก ในปลายทศวรรษ 1970 Graphic Standards Planning Committee of the Association for Computing Machinery ได้เสนอระบบคอมพิวเตอร์กราฟฟิคที่เป็นมาตรฐานขึ้นเรียกว่า ระบบคอร์ (CORE)

ระบบคอร์ (CORE) ระบบนี้จะประกอบด้วยกลุ่มคำสั่งที่เป็นมาตรฐาน เพื่อใช้สำหรับสร้างภาพและควบคุมอุปกรณ์ทางกราฟฟิคกลุ่มคำสั่งเหล่านี้จะไม่ขึ้นอยู่กับลักษณะของอุปกรณ์ หมายความว่าสามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ทุกชนิด ระบบคอร์กำหนดคำสั่งพื้นฐานที่จำเป็นเอาไว้เพื่อสามารถสร้างชุดคำสั่งที่สลับซับซ้อนขึ้นได้ แนวความคิดของระบบคอร์ก็คือ ให้โปรแกรมใดๆ ที่เขียนขึ้นด้วยคำสั่งในระบบคอร์สามารถนำไปใช้ได้กับคอมพิวเตอร์ทุกชนิดที่ใช้ระบบคอร์ได้และยังสามารถสร้างวัตถุในระบบ 2 มิติ และ 3 มิติ อย่างไรก็ตามระบบคอร์ได้ถูกสร้างขึ้น ก่อนที่หน่วยความจำมีราคาถูกลง และจอภาพแบบราสเตอร์ได้ถูกสร้างขึ้น ดังนั้นจึงมีคำสั่งพื้นฐานเกี่ยวกับการลากเส้นเท่านั้น คือใช้ได้กับจอภาพแบบเวคเตอร์ ขาดคำสั่งเกี่ยวกับการสร้างภาพที่เป็นพื้นผิวแต่คำสั่งเหล่านี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นตามมาภายหลัง

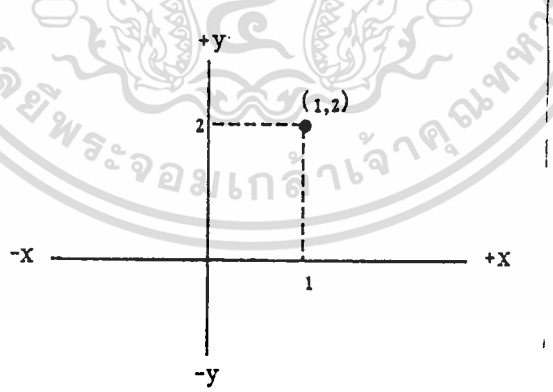
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ระบบ GKS (Graphics Kernel System) ก็เป็นมาตรฐานอีกอันหนึ่งที่ได้รับความนิยมมาก ถูกพัฒนาขึ้นในยุโรปและมีความเกี่ยวข้องกับระบบคอร์มากทีเดียว ระบบ GKS มีลักษณะที่คล้ายคลึงมากกับระบบคอร์ 2 มิติ และมีการเพิ่มคำสั่งที่เกี่ยวกับการสร้างพื้นที่ผิวแต่ไม่มีโครงสร้าง 3 มิต ระบบ GKS เป็นระบบแรกที่ทำงานบนเวิร์คสเตชั่นด้วยโปรแกรมเพียงโปรแกรมเดียวแต่ควบคุมเทอร์มินัลหลายๆ เทอร์มินัล นอกจากระบบคอร์และระบบ GKS แล้วยังมีระบบอื่นๆอีก เช่น

ระบบ PHIGS (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics Standard) ระบบนี้ทำหน้าที่ทางอินพุท เอ้าพุทและใช้ร่วมระบบคอร์หรือระบบ GKS ในการสร้างภาพ PHIGS จึงเป็นเพียงแค่อุปกรณ์ที่ช่วยเหลือโปรแกรมเมอร์ในการประยุกต์ใช้งานกราฟฟิคกับงานประเภทอื่นๆ เท่านั้น นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มเติมลักษณะใหม่ๆ เข้าอีกมากมายนอกเหนือจากที่มีอยู่เดิมในระบบคอร์หรือระบบ GKS

2.14 ระบบโคออร์ดิเนต

ระบบโคออร์ดิเนตที่รู้จักทั่วๆ ไปก็คือระบบโคออร์ดิเนต XY ซึ่งใช้คู่ลำดับในการกำหนดจุดต่างๆ ในระบบ เช่นจุด (1,2) หมายถึงจุดที่อยู่ห่างจากจุดเริ่มต้นไปทางแกน +X 1 หน่วยและแกน +Y 2 หน่วย ดังแสดงในรูปที่ 2.74

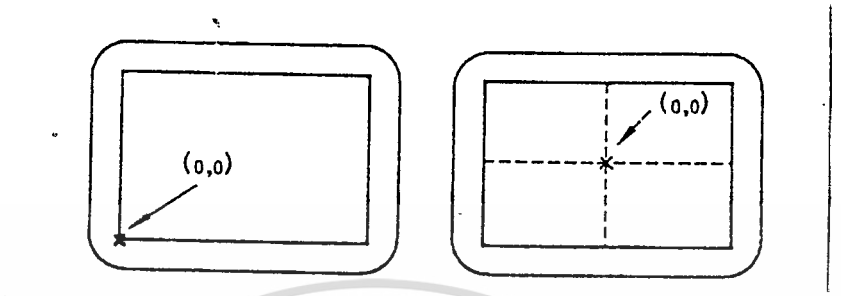


รูปที่ 2.71 ตำแหน่งของจุด (1,2)

ภาพในระบบกราฟฟิคจะถูกวาดขึ้นบนจอภาพ ดังนั้นการอ้างถึงจุดหรือตำแหน่งใด ๆ บนจอภาพเราจึงต้องใช้โคออร์ดิเนตด้วยเช่นกันแต่เป็นโคออร์ดิเนตของจอภาพแทนที่จะเป็นโคออร์-ดิเนต XY อย่างไรก็ตามเรามักจะพบปัญหาที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างทางด้านฮาร์ดแวร์ของจอภาพซึ่งมักจะเกิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดกำเนิด (0,0) ของโคออร์ดิเนตของจอภาพอยู่คนละตำแหน่งจอบางชนิดอยู่มุมล่างซ้าย บางชนิดอยู่ตรงกลางจอภาพ ดังรูปที่ 2.72



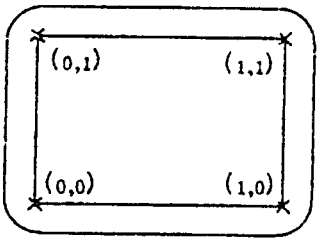
รูปที่ 2.72 ตำแหน่งของจุดเริ่มต้นบนจอภาพบางชนิด

สเกลที่ใช้ต่างกันอันเนื่องมาจากความละเอียดของจอภาพ ตัวอย่างเช่น จอภาพที่มีจุดเริ่มต้นตรงกลางเหมือนกัน แบบแรกมีความละเอียด 600x300 แบบที่สองมีความละเอียด 1200x1000 ดังนั้นการอ้างถึงจุด (300,150) จอภาพแบบแรกจะได้จุดอยู่บนตำแหน่งมุมบนขวา แต่สำหรับจอภาพแบบที่สองจะได้ตำแหน่งที่ใกล้จุดกึ่งกลางจอภาพเข้ามาอีก (รูปที่ 2.76)

รูปที่ 2.73 ตำแหน่งของจุด (300,150) บนจอภาพที่มีความละเอียดต่างกัน

เพื่อตัดปัญหาความยุ่งยากของความแตกต่างกันของจอภาพคนละชนิดในระบบคอมพิวเตอร์กราฟิคจึงได้กำหนดโคออร์ดิเนตบนจอภาพเอาไว้ให้ใช้ได้กับจอภาพทุกชนิดเป็นมาตรฐานเดียวกันหมดเรียกว่าโคออร์ดิเนตของอุปกรณ์มาตรฐาน (Nomal Device Coordinate) การวางตำแหน่งของจุดต่างๆ บนจอภาพไม่ว่าจะมีขนาดใหญ่ หรือเล็กหรือมีความละเอียดเท่าใดก็จะมีลักษณะเหมือนกันหมดคือมีความกว้างและความสูง 1 หน่วย จุดกำเนิดอยู่ที่มุมล่างซ้าย ดังรูปที่ 2.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 2.74 ลักษณะของโคออร์ดิเนตของอุปกรณ์มาตรฐาน

พารามิเตอร์ของคำสั่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโคออร์ดิเนตจะต้องใช้ค่าของโคออร์ดิเนตของอุปกรณ์มาตรฐานเท่านั้นในลักษณะที่ทำให้ผู้ใช้ไม่ต้องห่วงว่ากำลังใช้งานจอภาพอุปกรณ์มาตรฐานเป็นอย่างไรเท่านั้นก็พอ การทำงานของคำสั่งต่างๆ จะแปลงให้เป็นโคออร์ดิเนตที่แท้จริงของจอภาพให้เอง

2.15 เส้นตรง

เส้นต่างๆ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญและพื้นฐานที่สุดในการวาดภาพ เส้นมีเพียง 2 ชนิดเท่านั้นคือเส้นตรงและเส้นโค้ง ในที่นี้จะขอกล่างถึงเส้นตรงเท่านั้น เพราะว่าเข้าใจง่ายในระบบโค่ออร์ดิเนต เส้นตรงจะมีสมการเส้นตรงของมัน ดังนั้นการกล่าวอ้างถึงหรือชี้เฉพาะเส้นตรงเส้นหนึ่งๆ จะใช้สมการเส้นตรงระบบสมการเส้นตรงมีหลายรูปแบบเช่น

$$Y=mx+b \qquad (2.34)$$

โดยที่ m คือความชันของเส้นตรง

b คือจุดตัดแกน Y ของเส้นตรง

หรือมีรูปแบบเป็น

$$y-y1/x-x1 = y2-y1/x2-x1 \qquad (2.35)$$

โดยที่ (x1,y1),(x2,y2) คือจุด 2 จุดบนเส้นตรง

$$y-y1 = [y2-y1/x2-x1](x-x1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

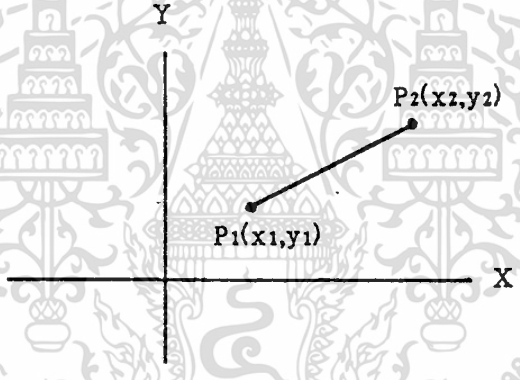
$$y = [y2-y1/x2-x1]x - [y2-y1/x2-x1]x11 + y1 \quad (2.36)$$

เปรียบเทียบสมการ 2.34 และ 2.35 จะเห็นว่าความชัน

$$m = y2-y1/x2-x1$$

$$b = [y2-y1/x2-x1]x11+y1 \quad (2.37)$$

นั่นคือถ้าทราบจุด 2 จุดบนเส้นตรง เราสามารถหาความชันของเส้นตรงนั้นๆ ได้ โดยสมการที่ 2.37 สมการเส้นตรงนั้นใช้แทนเส้นตรงที่มีความยาวจำกัด แต่การวาดเส้นตรงให้เกิดขึ้นบนจอเราต้องการเพียง "ส่วนของเส้นตรง" (Line Segment) เท่านั้น การกำหนดเส้นตรงจะกำหนดด้วยตำแหน่งของจุดปลายทั้งสองของส่วนของเส้นตรงดังตัวอย่างในรูปที่ 2.78 ซึ่งเราจะได้เส้นตรงระหว่างจุด p1 และ p2



รูปที่ 2.75 ตัวอย่างการกำหนดส่วนของเส้นตรง

2.16 การสร้างเส้นตรงบนจอภาพ

บนจอภาพแบบราสเตอร์ พิกเซลแต่ละพิกเซลมีตำแหน่งที่แน่นอนตายตัว ซึ่งตำแหน่งของพิกเซลกำหนดได้ด้วยโคออร์ดิเนตของจอภาพ ตัวอย่างเช่น จอภาพโมโนโครมที่ใช้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ที่มีความละเอียด 720 x 348 พิกเซลที่ตำแหน่ง (0,0) คือจุดที่อยู่มุมซ้ายบน พิกเซลที่ตำแหน่งที่ (0,347) คือจุดที่อยู่มุมล่างซ้าย พิกเซลที่ตำแหน่งที่ (719,347) คือพิกเซลที่อยู่ที่ตำแหน่งมุมล่างขวาจะเห็นว่าการที่กำหนดหรืออ้างถึงพิกเซลใด ๆ เราต้องกำหนดเป็นโคออร์ดิเนตของพิกเซลนั้นๆ ให้ถูกต้อง และที่สำคัญคือเป็นโคออร์ดิเนตของเลขจำนวนเต็มเท่านั้น ในการสร้างเส้นตรงบนจอภาพแบบราสเตอร์ เราจะอาศัยหลักการที่ว่าเส้นตรงเกิดจากจุดเล็กๆ เรียงต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราจะใช้พิกเซลของจอภาพแทนจุดทำให้เกิดเป็นเส้นตรงขึ้นมาบนจอภาพการสร้างจุดให้เกิดขึ้นบนจอภาพทำได้โดยการเปลี่ยนสี (แอตตริบิ้ว) ของพิกเซล ณ ที่ตำแหน่งที่เราต้องการให้เกิดจุดซึ่งระบุโดยใช้โคออร์ดิเนตของพิกเซลนั้น สีที่เปลี่ยนต้องต่างจากสีพื้นหรือสีพื้นหลังของจอภาพ เพื่อให้เห็นจุดที่เกิดขึ้นเพราะมีสีต่างจากสีพื้นหลัง เช่น สีพื้นหลังของจอภาพเป็นสีขาวการสร้างจุดก็คือการเปลี่ยนสีของพิกเซลเป็นสีดำ หรือแดงหรือสีอื่นที่ไม่ใช่สีขาว ความจริงแล้วสีพื้นหลังของจอภาพ ก็คือสีของพิกเซลทุกพิกเซลก่อนที่จะมีการทำคำสั่งใดๆ เพื่อให้เกิดภาพขึ้นจอ ซึ่งเป็นสีเดียวกันหมดทั่วทั้งจอภาพ คำสั่งในการเปลี่ยน

set-attribute(x,y,c)

โดยที่ (x,y) คือ โคออร์ดิเนตหรือตำแหน่งของพิกเซลที่ต้องการเปลี่ยนสีของมันและ c คือ สีที่ต้องการให้พิกเซลนั้นเป็น

ต่อไปจะเป็นการสร้างเส้นตรงจากจอภาพแบบราสเตอร์ โดยอาศัยวิธีการสร้างจุดทีละจุดเพื่อให้เกิดเส้นตรงขึ้น จากสมการ 2.34

$$y = mx+b \tag{2.38}$$

ถ้าเรามีจุด p1(x1,y1) และ p2(x2,y2) อยู่บนเส้นตรงนี้ ดังนั้น

$$y1 = mx1+b$$

$$y2 = mx2+b$$

$$y2-y1 = m(x2-x1) \tag{2.39}$$

ถ้า

$$x2 = x1+1 \tag{2.40}$$

แทนค่าสมการ 2.40 ลงในสมการที่ 2.39 จะได้

$$y2-y1 = m \tag{2.41}$$

จากสมการที่ 2.39,2.40,2.41 อธิบายได้ว่าจุดต่างๆ ที่อยู่บนเส้นตรงเดียวกันถ้า X เพิ่มค่าขึ้น 1 ค่าของ Y จะต้องเพิ่มขึ้น m ในทำนองเดียวกันเราสามารถพิสูจน์ได้ว่า ถ้าเราเพิ่มค่า Y ขึ้น 1 ค่าของ X ต้องเพิ่มขึ้น 1/m จากข้อสรุปที่กล่าวมานี้ทำให้เราสร้างอัลกอริทึมที่ใช้ในการวาดเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรงบนจอภาพแบบราสเตอร์ได้ ซึ่งต้องการเพียงตำแหน่งของจุดปลายทั้งสองของเส้นตรงเท่านั้น คือ (X1,Y1) และ (X2,Y2) เท่านั้น การทำงานของอัลกอลิทึมเป็นดังนี้

1.คำนวณหาความชัน m

2.ให้ X = x1 และ y = y1

3.เปลี่ยนสีของพิกเซลที่มีโคออร์ดิเนตใกล้เคียงกับจุด (x,y) มากที่สุด

4.เพิ่มค่า X ขึ้น 1 และเพิ่มค่า Y ขึ้น m

5.ทำซ้ำข้อ 2, 3, 4 จนกระทั่ง X มากกว่าหรือเท่ากับ X2

หมายเหตุ X1 ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ X2

อัลกอริทึมข้างบนนี้จะใช้ได้ดีกับเส้นตรงที่มีความชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 (มีมุมเอียงไม่เกิน 45 องศา) ถ้าเส้นตรงมีความชันมากกว่า 1 จะเกิดอลิแอสซิ่ง และอาจทำให้เส้นที่ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นในกรณีที่ความชันมากกว่า 1 เราจะแก้ไขวิธีการสร้างเส้นตรงเล็กน้อยดังนี้

1.คำนวณค่าส่วนกลับของ m m′ =1/m = (X2-X1)/(Y2-Y1)

2.ให้ X = X1 และ Y = Y1

3.เปลี่ยนสีของพิกเซลที่มีโคออร์ดิเนตใกล้เคียงกับจุด (x,y) ,มากที่สุด

4.เพิ่มค่า y ขึ้น 1 และเพิ่มค่า X ขึ้น m′

5.ทำซ้ำข้อที่ 2, 3, 4 จนกระทั่ง Y มากกว่าหรือเท่ากับ Y2

หมายเหตุ Y1 ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ Y2

ดังนั้นการสร้างเส้นตรงจากจุดต้องแยกพิจารณากรณีของความชัน m มากกว่า 1 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 เพื่อให้เส้นตรงมีความตรงมากที่สุด เป็นการลดอลิแอสซิ่ง และที่ให้เส้นตรงมีความต่อเนื่องกันตลอด อาศัยอัลกอริทึมที่กล่าวมา เราสามารถสร้างคำสั่งในการลากเส้น ซึ่งรับพารามิเตอร์เป็นโคออร์ดิเนตของจุดปลายทั้งสองของเส้นตรง คำสั่งที่ทำหน้าที่วาดเส้นตรงมักมีรูปแบบดังนี้

line(x1,y1,x2,y2)

หมายความว่าเป็นการลากเส้นตรงจากจุด (x1,y1) ไปยังจุด (x2,y2) คำสั่งวาดเส้นตรงที่สร้างจากอัลกอริทึมที่กล่าวมาแล้วนั้น ต้องใช้คำสั่งเปลี่ยนแอตตริบิ้วของพิกเซลในการทำงาน นั้นคือคำสั่ง set-attribute ก็เป็นคำสั่งพื้นฐานของการสร้างคำสั่ง line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การสร้างและการออกแบบ

ในการเขียนโปรแกรมสมิธชาร์ตนั้นมีความยุ่งยากมากพอสมควรจึงต้องเขียนเป็นโปรเจค-ไฟล์ กล่าวคือเขียนเป็นไฟล์ต่าง ๆ ขึ้นมา โดยแต่ละไฟล์นั้นเราแบ่งแยกกันไปตามหน้าที่ของแต่ละไฟล์ ซึ่งมีอยู่ทั้งหมด 11 ไฟล์ด้วยกันคือ

1. MENU.C เป็นไฟล์ที่ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับเมนูทั้งหมดตั้งแต่การเลือกเมนูการรับค่าจากแป้นพิมพ์หรือเม้าส์ แล้วจึงสั่งให้เครื่องทำงานตามความต้องการของผู้ใช้
2. GRAPH.C เป็นไฟล์ที่ทำหน้าที่ในการกำหนดโหมดการทำงานให้เป็นโหมดกราฟฟิค และทำหน้าที่ในการสร้างรูปสมิธชาร์ต
3. CHOICE.C เป็นไฟล์ที่จะต้องเก็บสิ่งที่จะต้องกระทำเมื่อมีการเรียกใช้จากไฟล์ MENU.C โดยประกอบไปด้วยส่วนของการคำนวณ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายส่งและในส่วนของการกำหนดการรับค่าและตรวจสอบค่าที่รับเข้ามาว่าเป็นค่าที่ถูกต้องหรือไม่ หากไม่ถูกต้องก็จะไม่นำไปทำการคำนวณ
4. THAIDRV.C เป็นไฟล์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างรูปแบบตัวอักษรภาษาไทย (font) ที่นำมาใช้ในโปรแกรมนี้ ซึ่งเป็นการโหลดรูปแบบตัวอักษรมาจากไฟล์ THAIENG.FON โดยที่โปรแกรม THAIDRV.C จะทำหน้าที่ในการโหลดฟร้อนมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ และจะคอยสร้างตัวอักขระต่าง ๆ ตามที่ต้องการนอกจากนี้ยังมีฟังก์ชั่นคอยรับตัวอักขระจากแป้นพิมพ์มาเก็บไว้ในหน่วยความจำเพื่อนำไปใช้งานได้อีกด้วย
5. MOUSEINFO.C เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับเม้าส์ตั้งแต่เริ่มทำการตรวจสอบการติดตั้งเม้าส์ การแสดงรูปเม้าส์ การซ่อนรูปเม้าส์ และการเปลี่ยนรูปเม้าส์ ซึ่งในโปรแกรมนี้ก็จะทำการเปลี่ยนรูปเม้าส์จากรูปลูกศรให้เป็นรูปมือชี้ โดยจะอาศัยหลักการในการเปลี่ยนดังต่อไปนี้ คือ เม้าส์พอยเตอร์ที่ใช้กันอยู่มี 2 โหมดด้วยกันคือ ในเท็กซ์โหมดและกราฟฟิคโหมดซึ่งแต่ละโหมดจะมีพอยเตอร์อยู่ใน 3 ลักษณะดังนี้คือ

-แบบโปร่งใส หมายถึงเมื่อเลื่อนพอยเตอร์ไปทาบทับกับรูปภาพ หรือตัวอักขระใด ๆ จะสามารถมองเห็นรูปภาพหรือตัวอักขระข้างล่างได้

-แบบทึบ หมายถึงเมื่อเลื่อนพอยเตอร์ไปทาบทับรูปภาพหรือตัวอักขระใด ๆ แล้วก็ตามจะไม่สามารถมองเห็นอักษรที่อยู่ข้างล่างได้

-แบบกลับภาพ หมายถึงเมื่อเลื่อนพอยเตอร์ไปทาบทับรูปภาพหรือตัวอักขระใด ๆ สีของรูปภาพหรือตัวอักขระใดๆจะเป็นสีตรงข้ามกับสีเดิม

6. FILE.C เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับไฟล์ กล่าวคือการเก็บไฟล์ที่กำลังทำงานอยู่ในขณะนั้นให้ลงแผ่นดิสก์หรือการโหลดค่าพารามิเตอร์ที่ได้เก็บไว้แล้วอยู่ในแผ่นดิสก์กลับคืนมาในหน่วยความจำเพื่อทำงานต่อจากเดิม
7. EQCIR.C เป็นโปรแกรมที่ใช้สร้างรูปของวงจรสมมูลย์ต่างๆที่ใช้ในการหาค่าต่างๆจากสมิธ-ชาร์ต
8. CRTPRINT.C เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดการการพิมพ์สมิธชาร์ต ออกทางไปเครื่องพิมพ์
9. CADD.C เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการสร้างรูปต่างๆ เช่น เส้นตรง วงกลมส่วนของวงกลม การพล็อตจุด หรือว่าเป็นการกำหนดข้อความลงบนตำแหน่งต่างๆ
10. SCANCODE.H เป็นโปรแกรมที่เก็บค่า define ต่าง ๆ และ includeไฟล์ต่างๆ ที่ทุกโปรแกรมจะต้องใช้รวมกันไว้
11. SMITH.PRJ เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่ในการรวบรวมไฟล์ต่างๆเข้าไว้ด้วยกันและโปรแกรมที่ได้หลังจากการคอมไพล์แล้วจะได้เป็นโปรแกรม SMITH.EXE

การสร้างรูปแบบทั้งสามนี้เกิดจากการผสมผสานโครงสร้าง 2 ส่วนเข้าด้วยกันซึ่งโครงสร้างทั้งสองนี้ต่างก็เป็นอะเรย์ขนาด 16x16 เหมือนกันเรียกว่า AND Mask และ XOR Mask จากการกำหนดค่าของแต่ละบิทโครงสร้างทั้งสองนี้ ก็จะให้ผลลัพธ์ เป็นดัง 3 แบบ ดังตาราง

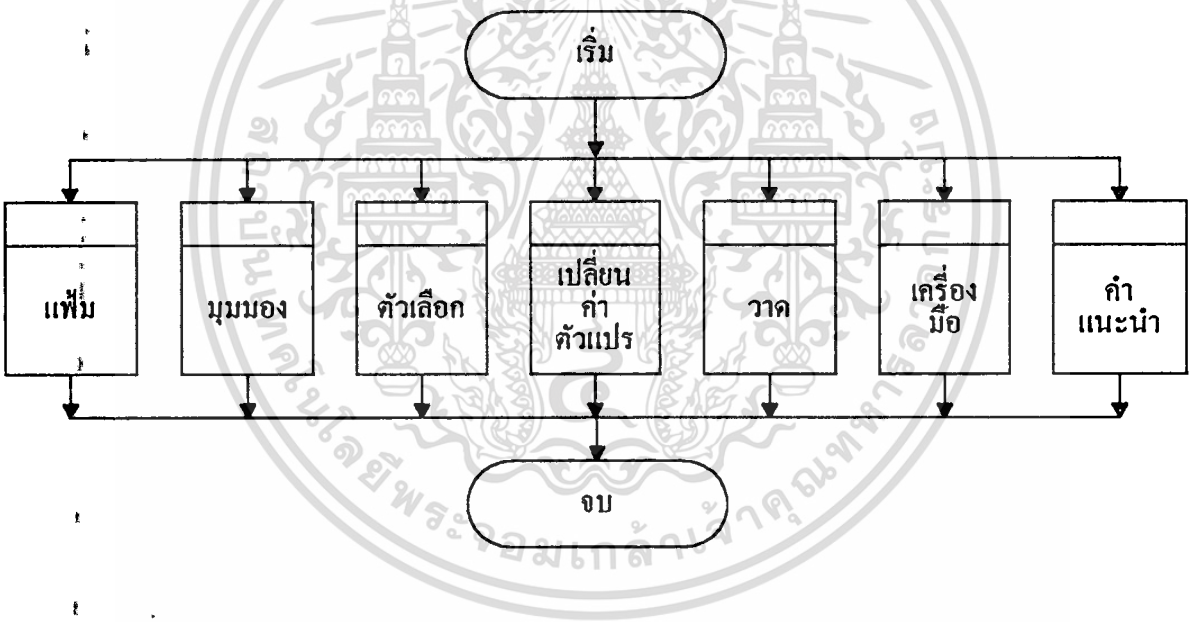
AND Mask	XOR Mask	ผลลัพธ์ที่ได้
0	0	สีดำ (Black)
0	1	สีขาว (white)
1	0	โปร่งใส(Transparent)
1	1	กลับภาพ (invert)

ตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างเม้าส์พอยเตอร์ให้เป็นรูปต่างๆดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นนั้นจะเป็นการสร้างที่อยู่ในโหมด กราฟฟิคซึ่งมีวิธีการสร้างดังนี้

1. สร้างตารางขนาด 16x16 ช่อง
2. บกำหนดลักษณะในแต่ละช่องของพอยเตอร์ว่าต้องการให้มีสีขาว ดำ โปร่งใสหรือกลับภาพ จากนั้นนำไปเขียนลงในตาราง 16x16 ช่อง
3. เปลี่ยนลักษณะของแต่ละช่องให้เป็น AND Mask และ XOR Mask ของช่องนี้เป็น 0 และ 1 ตามลำดับ
4. แปลงค่าเลขฐานสองของทั้ง AND Mask และ XOR Mask เป็นเลขฐาน 16
5. เรียกการใช้ฟังก์ชั่นหมายเลข 9 ของเม้าส์ไดร์เวอร์โดยใช้ตัวเลขที่ได้จากข้อ 4 เป็นค่าพารามิเตอร์ ก็จะได้รูปภาพของเม้าส์พอยเตอร์ออกมาตามความต้องการ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของโปรแกรม

นอกจากโปรแกรมต่างๆที่ได้กล่าวมาทั้ง 11 โปรแกรมแล้ว ยังมีอีก 1 โปรแกรมที่ไม่ได้รวมไว้ในโปรเจคไฟล์ แยกไปต่างหากแต่ยังคงทำงานร่วมกับโปรแกรม smith.exe ในลักษณะโอเวอร์เลย์คือโปรแกรม help สาเหตุที่ต้องแยกโปรแกรม help ออกมาในลักษณะโอเวอร์เลย์ก็เนื่องมาจากปัญหาของหน่วยความจำกล่าวคือ ในระบบปฏิบัติการของ dos นั้นสามารถใช้หน่วยความจำของเครื่องได้อย่างจำกัด โดยสามารถจะทำการใช้ได้ในช่วง 640 kB ถ้าหากต้องการใช้หน่วยความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำที่สูงกว่านี้ขึ้นไป จำเป็นที่จะต้องมีการติดตั้ง extension memory โดยโปรแกรม HIMEM.SYS เสียก่อนซึ่งเป็นการยุ่งยาก ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงได้เปลี่ยนมาใช้วิธีการเขียนโปรแกรมแบบโอเวอร์-เลย์แทน

3.1 การออกแบบและการทำงานของโปรแกรมในแต่ละส่วน

การกำหนดโหมดการทำงานของจอภาพ ในการกำหนดโหมดการทำงานของจอภาพนั้น โดยปกติแล้วจะต้องมีโปรแกรมไดร์เวอร์ของจอภาพชนิดนั้น ๆ และสำหรับโปรแกรมสมิธชาร์ตนี้ ได้กำหนดให้ใช้กับจอภาพ VGA หรือสูงกว่านี้ในโหมด VGAHI มีความละเอียดเป็น 640x480 พิกเซลโดยใช้คำสั่งกราฟฟิคชื่อ initgraph หากไม่สามารถกำหนดให้จอทำงานในโหมดนี้ได้จะออกจากโปรแกรมพร้อมกับบอกสาเหตุที่ไม่สามารถกำหนดให้จอภาพทำงานในโหมดนี้ได้โดยโปรแกรมไดร์เวอร์ที่ใช้คือ EGAVGA.BGI แต่เราสามารถรวมโปรแกรมนี้ไว้ในโปรแกรม SMITH.EXE ได้เลยดังนั้นเวลา RUN โปรแกรมจึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้โปรแกรม EGAVGA.BGI อีก

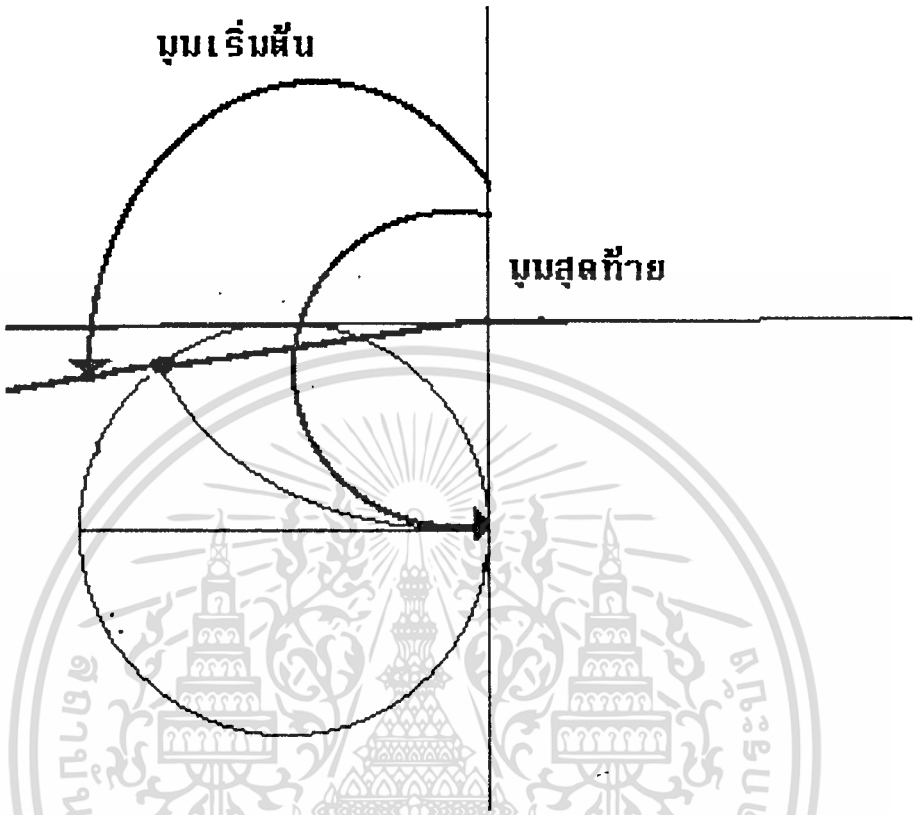
3.2 การสร้างรูปสมิธชาร์ต

ในการสร้างรูปสมิธชาร์ตนั้นเราแบ่งลักษณะของรูปออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนแรกคือส่วนของวงกลมคอนดัคแตนซ์คงที่(constant G)จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือ โค้งคว่ำและโค้งหงาย ในการสร้างส่วนของวงกลมนั้นพารามิเตอร์ที่เราต้องทราบก็คือ จุดศูนย์กลาง ซึ่งจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสูตร x=1,y=1/G เมื่อ G เป็นค่าคงที่ประจำเส้นโค้งนั้น ๆ ซึ่งจุดศูนย์กลางที่ได้จะเป็นจุดศูนย์กลางที่ผ่านการนอร์มอลไลซ์แล้ว ดังนั้นเมื่อเราจะนำไปแสดงบนจอภาพจะต้องทำการบวกด้วยค่าของ dx หรือ dy เพื่อทำการแปลงภาพแบบย้ายเสียก่อน แล้วจึงทำการคูณด้วยค่าของ rad เพื่อทำการแปลงขนาด ซึ่งตัวแปร dx,dy และ rad นี้เป็นตัวแปรชนิด external ทุกโปรแกรมจะใช้ร่วมกัน dx และ dy คือตำแหน่งที่ต้องการย้ายภาพสมิธชาร์ตไป ส่วน rad เป็นขนาดที่ต้องการของสมิธชาร์ต ส่วนมุมเริ่มต้นและมุมสุดท้ายนั้นเราจะต้องทำการคำนวณอีกครั้ง

ในส่วนของโค้งหงายนั้น จะตั้งข้อสังเกตเห็นว่ามุมเริ่มต้นจะเปลี่ยนไปตามเส้นที่เราวาดแต่มุมสุดท้ายจะมีค่าเท่ากันคือ 270 องศา ส่วนโค้งคว่ำนั้นจะเห็นว่ามุมเริ่มต้นเท่ากับ 90 องศา แต่มุมสุดท้ายจะเปลี่ยนไปตามเส้นที่เราวาดดังรูปที่ 3.2

แต่เราจะเห็นว่าส่วนของวงกลมนั้นสมมาตรกันทั้งด้านบนและด้านล่างดังนั้นเราจึงสามารถวาดเพียงด้านเดียวก็ได้ในการหามุมนั้นสามารถหาได้หลายวิธี วิธีที่ใช้ในโปรแกรมนี้เป็นการหามุมโดยใช้ทฤษฎีของตรีโกณมิติดังรูปที่ 3.33

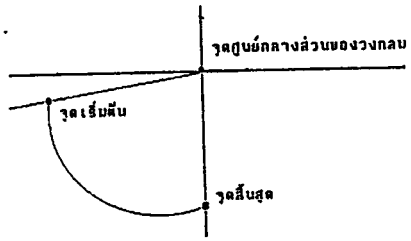
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



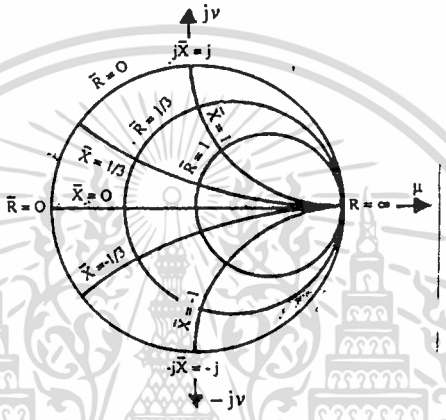
รูปที่ 3.2 มุมเริ่มต้นและมุมสุดท้ายของส่วนของวงกลม

จากรูปเราสามารถหาค่าของมุม θ ได้จากสูตร $\theta = 2\tan^{-1}a/b$ แต่มุมที่ได้จากการคำนวณนั้นเป็นค่าเรเดียนต้องทำการแปลงให้เป็นองศาโดยต้องคูณด้วย 57.29578 แต่มุมที่เราต้องการคือมุม 1 ดังนั้นถ้าเป็นโค้งหงายทางด้านบนนั้นจะต้องนำไปลบ 270 ออกส่วนถ้าเป็นโค้งทางด้านล่างให้บวกด้วย 90 องศาก็จะได้มุมที่แท้จริง อีกส่วนหนึ่งของรูปสมิธชาร์ตก็คือวงกลมค่ารีซิสแตนซ์คงที่[1] (constant R) ในการวาดรูปวงกลมค่ารีซิสแตนซ์คงที่นี้ ง่ายกว่าการวาดส่วนของวงกลมมาก เนื่องจากพารามิเตอร์ของวงกลมนั้น ประกอบด้วย x และ y ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางที่แปรผันตามสูตร x=0 และ y=R/R+1 ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 เมื่อเรานำทั้งสองส่วนมาทำการวาดลงบนจอโดยที่เราวนรอบการทำงานจนครบทุกเส้นก็จะได้รูปสมิธชาร์ต ดังรูปที่ 3.4 สาเหตุที่รูปสมิธชาร์ตไม่เหมือนกับที่ใช้ในกระดาษทั่ว ๆ ไปก็เนื่องมาจากหากเราว่ากำหนดให้รูปสมิธชาร์ตที่เราสร้างขึ้นมามีจำนวนเส้นเท่ากับของจริงจอภาพจะไม่แสดงผลได้เนื่องจากมีความละเอียดไม่เพียงพอเราจึงต้องกำหนดเส้นเว้นเส้นซึ่งก็มีความเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การวาดส่วนของเส้นโค้งโดยใช้ทฤษฎีตรีโกณมิติ



รูปที่ 3.4 การนำส่วนโค้งที่สร้างได้มาทำการวาดลงในวงกลมสมิธชาร์ต

3.3 การสร้างเมนู

เมนูที่ใช้ในโปรแกรมนี้เป็นเมนูที่สามารถทำงานได้โดยการควบคุมมาจากแป้นพิมพ์และเม้าส์ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบการกดแป้นพิมพ์และเม้าส์ไปพร้อมๆกันข้อความของเมนูแต่ละเมนูจะถูกกำหนดโดยฟังก์ชัน Menu Assignment ซึ่งในเมนูนี้เราจะกำหนดค่าตัวแปรทั้งหมดที่เกี่ยวกับเมนูซึ่งกำหนดไว้เป็นตัวแปรแบบ structure เป็นตัวแปรชนิด global ถูกกำหนดไว้ในไฟล์ scancode.h ประกอบไปด้วย

- menus[].frame[0]
- menus[].frame[1]
- menus[].frame[2]
- menus[].frame[3]

จะทำการเก็บขนาดของกรอบเมนูแต่ละเมนูไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- menus[].row[0] - menus[].row[n] จะทำการเก็บแถวของข้อความเมนู

- menus[].col จะเก็บคอลัมน์ที่และแสดงข้อความของเมนู ส่วน

- menus[].item[].choice จะทำหน้าที่เก็บข้อความของตัวเลือกเอาไว้

หลังจากการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำงานต่อในฟังก์ชั่น Selectmenu เพื่อทำการเลือกตัวเลือกโดยจะทำการตรวจสอบการกดแป้นพิมพ์และเม้าส์ นอกจากนี้ยังมีการเก็บภาพพื้นหลังของเมนูก่อนที่เมนูจะถูกทับไว้ก่อนเพื่อมิให้ภาพพื้นหลังเสีย และจึงไปทำงานตามฟังก์ชั่นที่ถูกเลือก

3.4 การสร้างและเก็บรูปที่วาดบนสมิธชาร์ต

ในการเก็บรูปที่ทำการวาดบนสมิธชาร์ตนั้นเราเก็บไว้ในตัวแปร structure ในฟังก์ชั่น Mempic โดยพารามิเตอร์ที่ต้องการจะประกอบด้วยคำสั่งค่า x1,y1,x2,y2,มุมเริ่มต้นมุมสุดท้าย,รัศมี และข้อความ โดยค่าที่เก็บไว้เป็นค่าในพิกัดนอร์มอลไลซ์ ในทางตรงกันข้ามเวลาที่เราจะวาดภาพเหล่านี้กลับออกมาที่จอก็นำค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ มาทำการแปลงให้เป็นระบบโคออดิเนตของจอภาพเสียก่อนแล้วจึงทำการวาดลงบนจอภาพ ในกรณีที่เราต้องการลบภาพนั้นออกจากสมิธชาร์ต ก็เพียงแต่ทำการเลื่อนตัวแปรของจอภาพที่อยู่ข้างหลังขยับเข้ามา

3.5 การแปลงค่าระหว่างคอมเพล็กซ์อิมพีแดนซ์กับค่าโคออร์ดิเนตของจอภาพ

การแปลงจากค่าโคออร์ดิเนตนอร์มอลไลซ์เป็นค่าคอมเพล็กซ์อิมพีแดนซ์สามารถแปลงได้จากสูตรค่าของ

ความต้านทานจำนวนจริง = 1/(k-1)2

โดยที่

$$k=(x2+y2-1)/2(x-1)$$

และค่าความต้านทานที่เป็นจำนวนจินตภาพ = 1/m

โดยที่

$$m=(x2+y2-2y+1)/2y$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ซึ่งเป็นสูตรที่ได้มาจากการใช้ทฤษฎีของเลขาคณิตและตรีโกณมิติเข้าช่วย ในทางตรงข้ามถ้าหากต้องการแปลงค่าของอิมพีแดนซ์ให้เป็นนอร์มอลไลซ์โดออร์ดิเนตสามารถทำได้ดังนี้เริ่มต้นจะหามุมที่จุดที่อิมพีแดนซ์กับจุดกำเนิดทำกับแกน x ในทางบวกโดยคำนวณได้จาก

$$\theta = 2x\tan^{-1}(real+1)/imagin$$

โดยที่

$$x = [real/(REAL+1)]+[1/(real+1)x\cos\theta]$$

และ

$$y = sin/real+1$$

ซึ่งก็ใช้วิธีการทางเลขาคณิตเช่นกัน ส่วนการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือส่วนหนึ่งเป็นการคำนวณจากสูตรโดยตรงส่วนหนึ่งหาได้จากสมิธชาร์ตโดยใช้วิธีการ ทางเลขาคณิต

3.6 การสร้างตัวอักษรภาษาไทย

วิธีที่ใช้ในโปรแกรมนี้ใช้รูปแบบตัวอักษรจากไฟล์ THAIENG.FON โดยจะโหลดรูปแบบตัวอักษรทั้งหมดมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ ลักษณะของการสร้างตัวอักษรแบบนี้นั้นเป็นการกำหนดรูปแบบการวาดเส้นไว้ทั้งหมด 16 เส้นดังนั้นตัวอักษรที่ได้จะเป็นตัวอักษรขนาด 8x16 พิกัดเซลซึ่งส่วนนี้อยู่ในโปรแกรม THAIDRV.C

3.7 การพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์

วิธีการที่ใช้ในการพิมพ์ภาพในโปรแกรมนี้ใช้วิธีการลอกภาพจากหน้าจอโดยจะมีการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องพิมพ์ก่อน ถ้าหากเครื่องพิมพ์ไม่พร้อมก็จะไม่ทำการพิมพ์ หากเครื่องพิมพ์พร้อมก็จะสั่งให้เครื่องพิมพ์พิมพ์ข้อความหรือรูปภาพที่อยู่บนหน้าจอโดยจะใช้คำสั่ง biosprint() โดยคำสั่งที่ส่งไปได้จากการตรวจสอบจุดแต่ละจุดบนจอภาพ หากจุดนั้นมีการเขียนภาพก็จะมีค่าเป็น 1 กำหนดให้บิทนั้นมีค่าเป็น "1" โดยจะทำการตรวจสอบครั้งละ 8 บิท จากบนลงล่างและจากขวาไปซ้าย โดยค่าที่ส่งออกไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255 ขึ้นอยู่กับจำนวนจุดแต่ละจุดที่ทำการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองการใช้โปรแกรมสมิธชาร์ตเพื่อคำนวณหาค่าต่าง ๆ และ รูปที่พล็อตได้จากค่าที่หาได้ โดยในการทดลองนี้จะมีการเปรียบเทียบค่าจากการคำนวณกับ ค่าที่ได้จากการทดลองแตกต่างกันอย่างไร โดยในบทนี้จะทดลองหาค่าทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ซึ่งจะครอบคลุมการใช้โปรแกรมทั้งหมด ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองจะหาค่าต่าง ๆ ดังนี้

- การพล็อตอิมพีแดนซ์เชิงซ้อนบนสมิธชาร์ต
- การหาอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่ระยะต่าง ๆ นับจากโหลด
- การหาตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุด
- การหาสตับอนุกรมแบบเดี่ยวเพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด
- การหาสตับขนานแบบคู่เพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด

4.1 การทดลอง

4.1.1 การทดลองการพล็อตอิมพีแดนซ์เชิงซ้อนบนสมิธชาร์ต

ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งจะมีการเปรียบเทียบค่าของ Zo กับ ZL โดยรูปที่พล็อตได้จากการคำนวณจะนำมาทำการเปรียบเทียบกันกับค่าและรูปที่พล็อตได้จากโปรแกรมในการทดลอง ซึ่งจากการเปรียบเทียบนั้นจะได้ค่าของ Zo กับ ZL และรูปที่มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ค่าที่ได้จากการคำนวณจะได้ดังตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 1 ให้หาตำแหน่งของ ZL = 200+j300 บนสมิธชาร์ต เมื่อให้โหลดนี้ต่อกับสายนำสัญญาณที่มีคาแรคเตอริสติกอิมพีแดนซ์เท่ากับ 100 โอห์ม

วิธีหา เริ่มแรกต้องทำการนอร์มอลไลซ์ค่าคอมเพล็กเสียก่อน

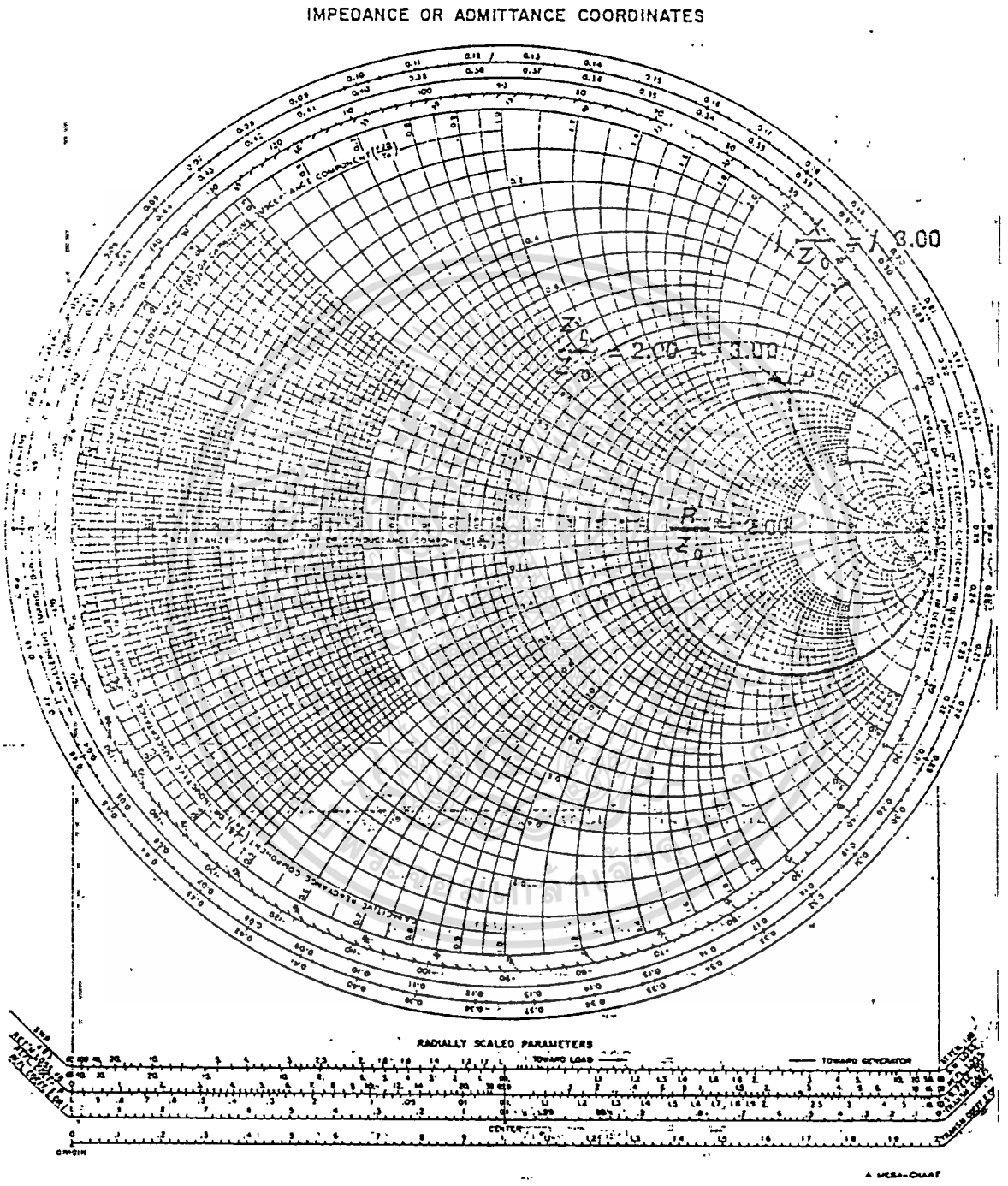
$$ZL = 200 + j300$$

$$ZL/Zo = 200/100 + j300/100$$

$$= 2.0 + j3.0$$

นำค่าที่ทำการนอร์มอลไลซ์แล้วนี้ไปพล็อตหาจุดโคออดิเนตบนสมิธชาร์ตซึ่งจุดตัดหรือจุดโคออดิเนตที่ได้ก็จะเป็นตำแหน่งของโหลด ZL ดังรูปที่ 4.1 ก็คือจุด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

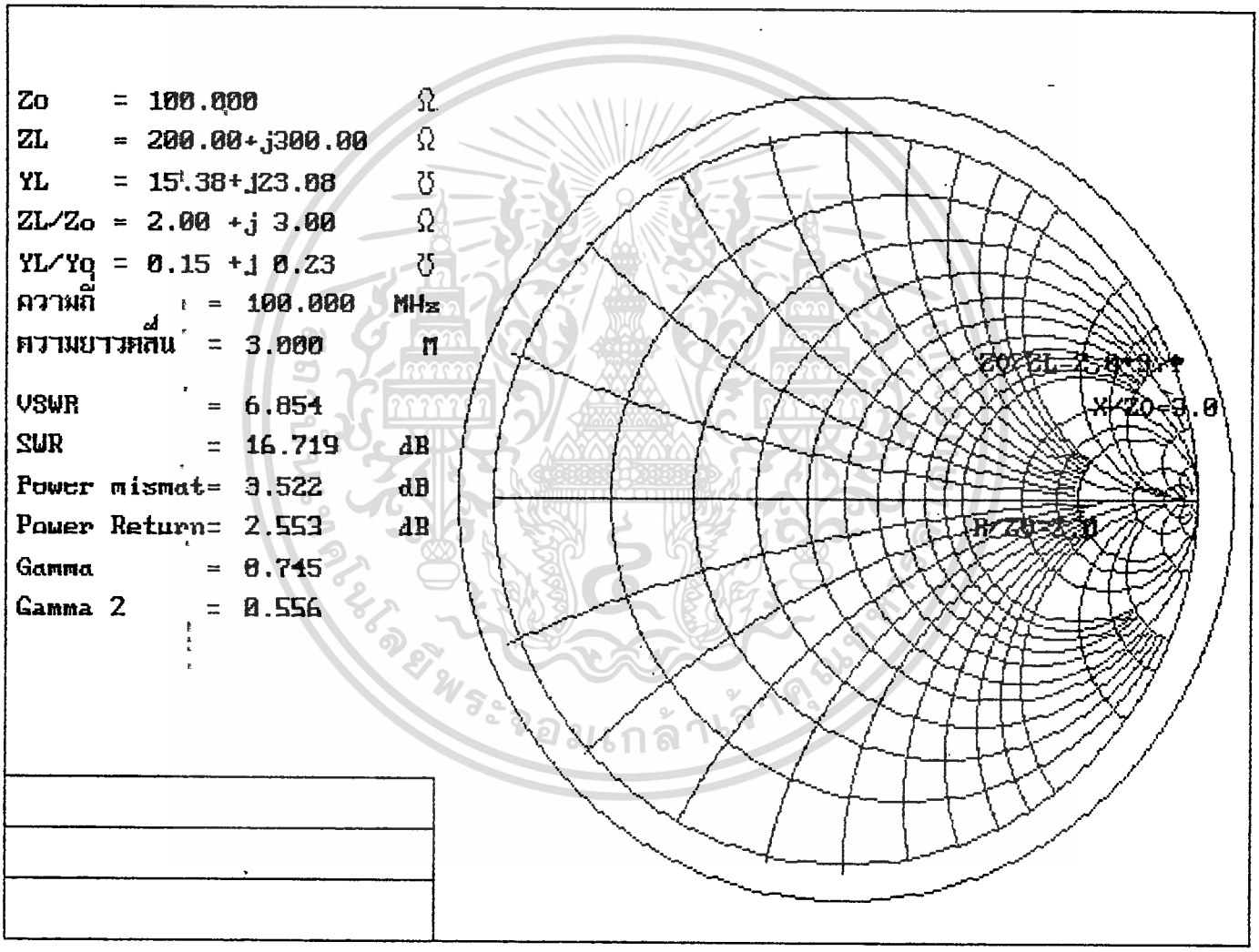


รูปที่ 4.1 ค่าจากการคำนวณตำแหน่งโหลด Zo

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อเราใส่ค่าตามโจทย์ตัวอย่างที่ 1 ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าในตำแหน่งโหลด ZO และค่าของ ZL ที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการทดลอง จะเห็นว่าค่าที่ได้นั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันมากและรูปตำแหน่ง ZO จากการพล็อตนั้นจะมีความใกล้เคียงกันด้วย



รูปที่ 4.2 ค่าจากการทดลองหาตำแหน่งโหลด Zo โดยใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4.1.2 การหาอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่ระยะต่าง ๆ

การทดลองจะใส่ค่าตามโจทย์ตัวอย่างที่ 2 โจทย์จะให้หาค่า ZL และระยะห่างจากโหลดเพื่อนำมาพล็อตลงในสมิธชาร์ตและนำมาเปรียบเทียบกับค่าและรูปที่ได้จากการทดลองนี้ ซึ่งจากการเปรียบเทียบนั้นจะได้ค่า ZL และรูปที่พล็อตได้จะมีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ค่าที่ได้จากการคำนวณจะได้ดังตัวอย่างที่ 2

ตัวอย่างที่ 2

จงหาอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ระยะห่าง 0.625λ จากโหลดของสายนำสัญญาณซึ่งมีค่าเป็น ZL = 75-j25 โอห์ม กำหนดให้สายนำสัญญาณนี้มีค่าคาแรคเตอริสติกอิมพีแดนซ์เท่ากับ 50 โอห์ม

วิธีหา

1. หาค่านอร์มอลไลซ์ ZL

$$ZL/Zo = 75/50\text{-}j25/50$$

$$= 1.5\text{-}j0.5$$

2. พล็อตค่านอร์มอลไลซ์โหลด ZL ที่ได้จากข้อ 1 บนสมิธชาร์ตใช้ชื่อว่าจุด A ตามรูปที่ 4.3 ลากเส้นตรงจากจุด 1.0 ผ่าน A ไปจนถึงสเกลความยาวคลื่น (สเกล C ซึ่งได้อธิบายตามรูปที่ 4.1) อ่านค่าความยาวคลื่นได้เท่ากับ 0.296λ
3. จากนั้นวาดวงกลม VSWR เพื่อใช้ในการหาค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ ที่ระยะ 0.625λ เพราะว่าระยะ 0.625λ นี้จะเกินระยะทาง 1 รอบ ซึ่งจะเท่ากับ 0.500λ ดังนั้นระยะห่างที่เหลือบนสมิธชาร์ตหาได้ดังนี้

0.625λ (ระยะห่างจากโหลดไปยังอินพุท)

-0.500λ (ระยะทาง 1 รอบของวงกลมสมิธชาร์ต)

0.125λ (ระยะห่างที่เหลือ)

4. จากตำแหน่งของโหลดบนสมิธชาร์ต ที่ค่าความยาวคลื่น 0.296λ ให้วนตามเข็มนาฬิกาเป็นระยะทาง 0.125λ ได้ตำแหน่งอินพุทที่ระยะห่าง 0.625λ นับจากโหลด

0.296λ (ตำแหน่งของโหลด)

+0.125λ (ระยะห่างที่เหลือ)

0.421λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ลากเส้นตรงจากจุด 1.0 ตัดวงกลม VSWR ไปยังตำแหน่ง 0.421 ที่ได้จากข้อที่ 4 จุดตัดของเส้นตรงบนวงกลม VSWR ซึ่งได้แก่จุด B ตามรูปที่ 4.3 ก็จะเป็นค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ตามที่ต้องการ

$$ZL/Zo = 0.680\text{-}j0.340$$

และเพราะว่า ZO = 50 โอห์มดังนั้นค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ระยะห่าง 0.625 จากโหลดจะได้เป็น

$$ZL = Zo(0.680\text{-}j0.340)$$

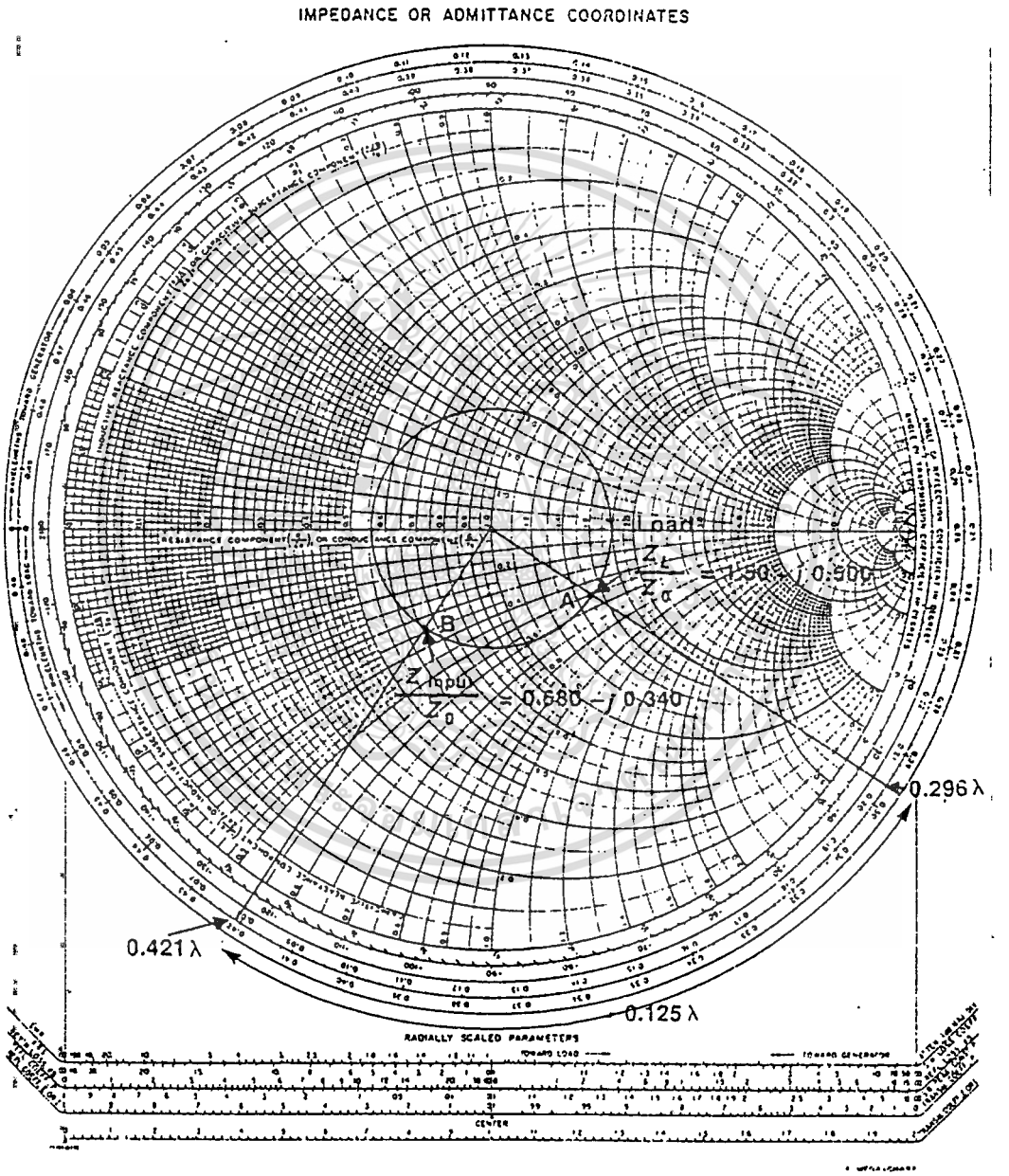
$$= 50(0.680\text{-}j3040)$$

$$= 34\text{-}j17\ \Omega$$

ผลการทดลอง

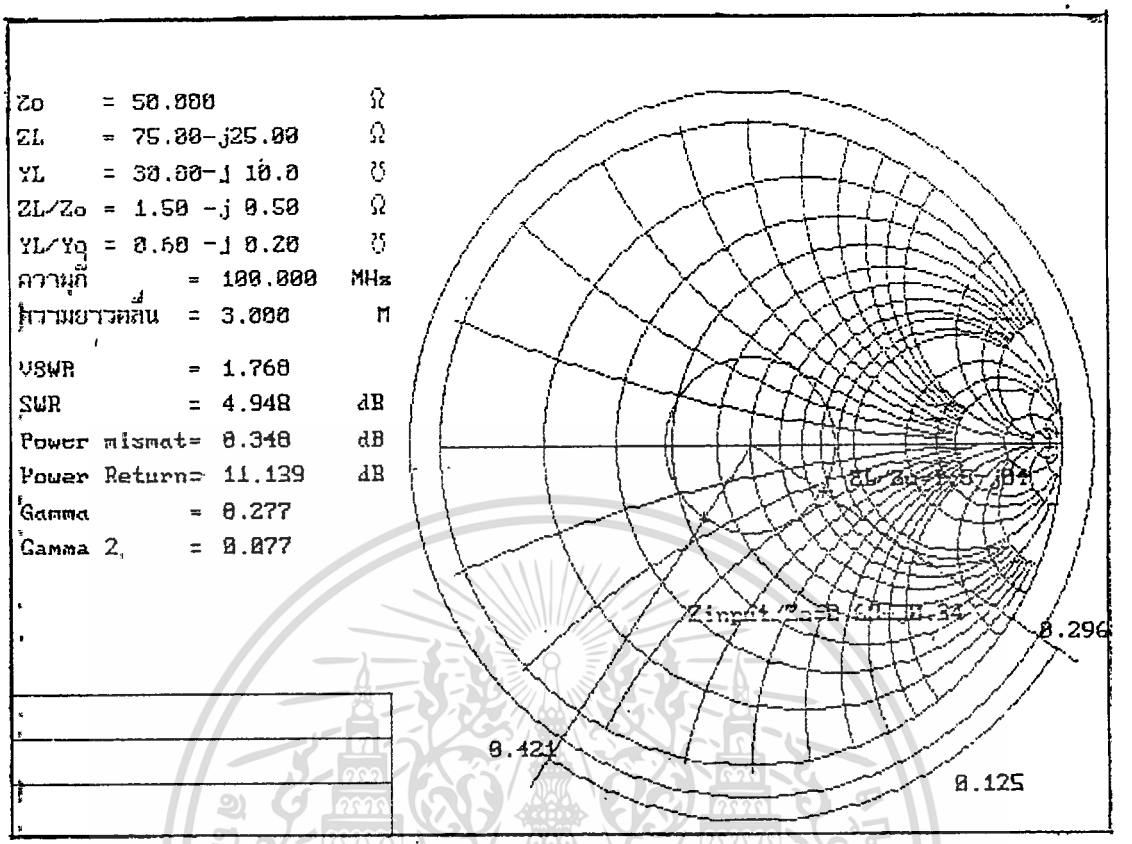
จากการทดลองเมื่อเราใส่ค่าตามโจทย์ตัวอย่างที่ 2 ซึ่งเมื่อเราทำการเปรียบเทียบค่า ZL และระยะห่างที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าของ ZL ที่ได้นั้นจะมีค่าใกล้เคียงกันมากและระยะห่างจากโหลดที่ได้จากการพล็อตนั้นจะใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 4.3 การหาอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การหาอินพุทอิมพีแดนซ์ที่ได้จากการทดลองโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การหาตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุด

การทดลองใส่ค่าตามตามตัวอย่างที่ 3 ซึ่งให้หาค่าระยะห่างระหว่างแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดตำแหน่งแรกโดยค่าและรูปที่พล็อตได้จากการคำนวณนั้นจะนำมาทำการเปรียบเทียบกันกับค่าและรูปพล็อตที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจากการเปรียบเทียบนั้นจะได้ค่าระยะห่างและตำแหน่งของแรงดันจากรูปจะมี ความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ค่าที่ได้จากการคำนวณจะได้ดังตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 3 จงหาระยะห่างที่เกิดจากคลื่นนิ่งแรงดันสูงสุด และต่ำสุดตำแหน่งแรกบนสายนำสัญญาณ ที่ต่อปลายด้วยโหลด ZL = 25+j35 เมื่อกำหนดความถี่ของสัญญาณค่าเท่ากับ 1.75 GHz และค่าแรคเตอริสติกอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณเท่ากับ 50 โอห์ม

วิธีหา

1.ทำการนอร์มอลไลซ์ ZL

$$ZL = 25+j35$$

$$ZL/Zo = 25/50+j35/50$$

$$= 0.5+j0.7$$

2. พล็อตค่านอร์มอลไลซ์ของโหลดบนสมิธชาร์ตลากเส้นตรงจากจุด 1.0 ผ่านจากจุดโหลดไปตัดเส้นสเกลความยาวคลื่น (สเกล C) ได้จุด A ดังรูปที่ 4.5 อ่านค่าความยาวคลื่นได้ 0.110λ

3.ตำแหน่งสูงสุดและตำแหน่งต่ำสุดหาได้โดยวนตามเข็มนาฬิกาที่มีทิศทางพุ่งเข้าหาแหล่งจ่ายพลังงานวัดจากโหลด ซึ่งแรงดันสูงสุดจุดแรกเกิดตกกร่อมที่ค่าความต้านทานสูงสุดนั่นก็คือจุดขวาสุดของเส้นแนวนอน หรือจุด 0.250λ (จุด B ตามรูปที่ 4.5)

0.250λ (ตำแหน่งแรกของแรงดันสูงสุด)

-0.110λ (ตำแหน่งของโหลด)

0.140λ (ระยะห่างจากโหลดถึงตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุด)

จากสมการที่ 1

$$\lambda = 30/f$$

$$= 30/1075$$

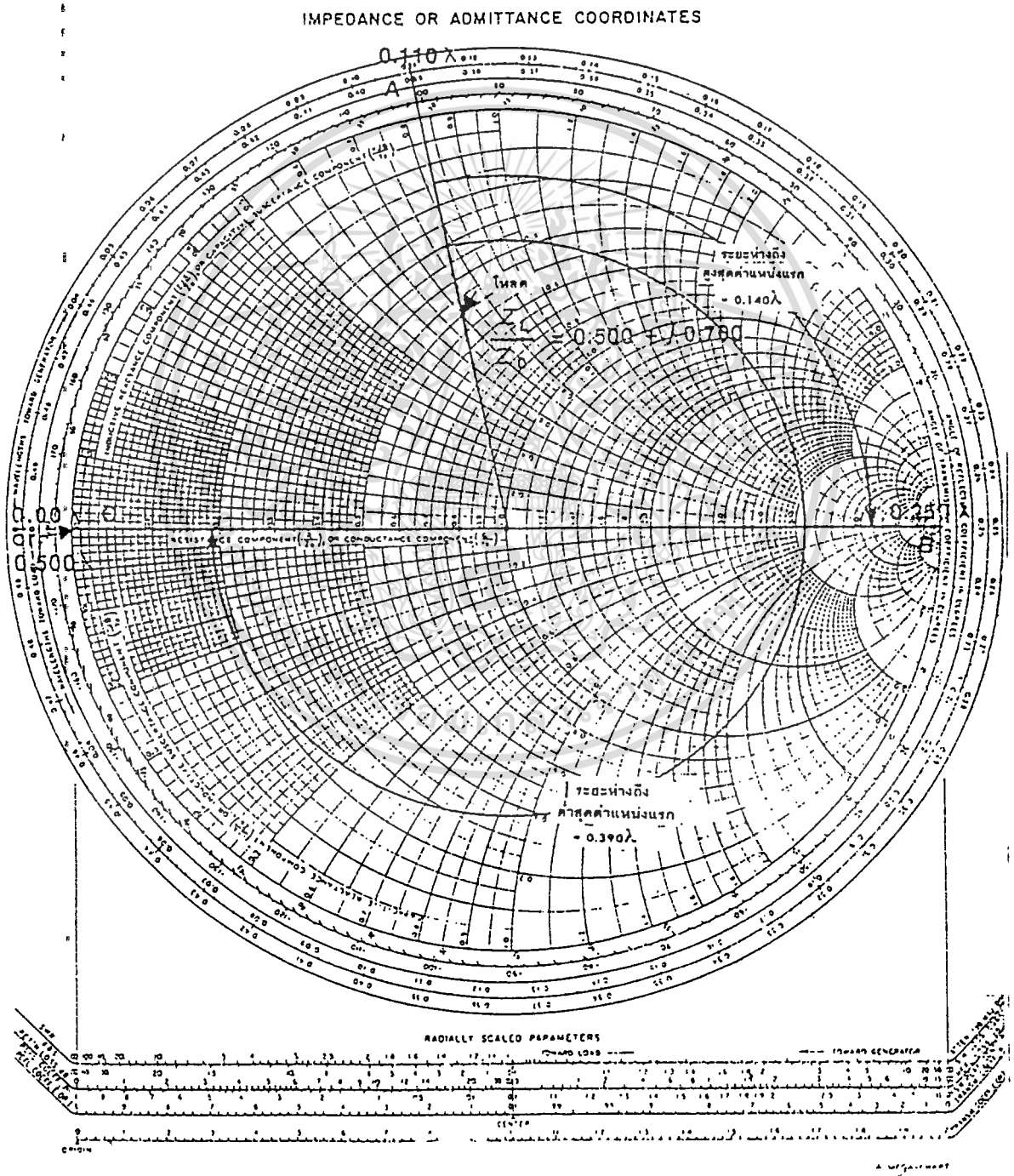
$$= 17.1 \text{ cm.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะจากโหลดถึงจุดแรงดันสูงสุดตำแหน่งแรก $= 0.140\ \lambda$

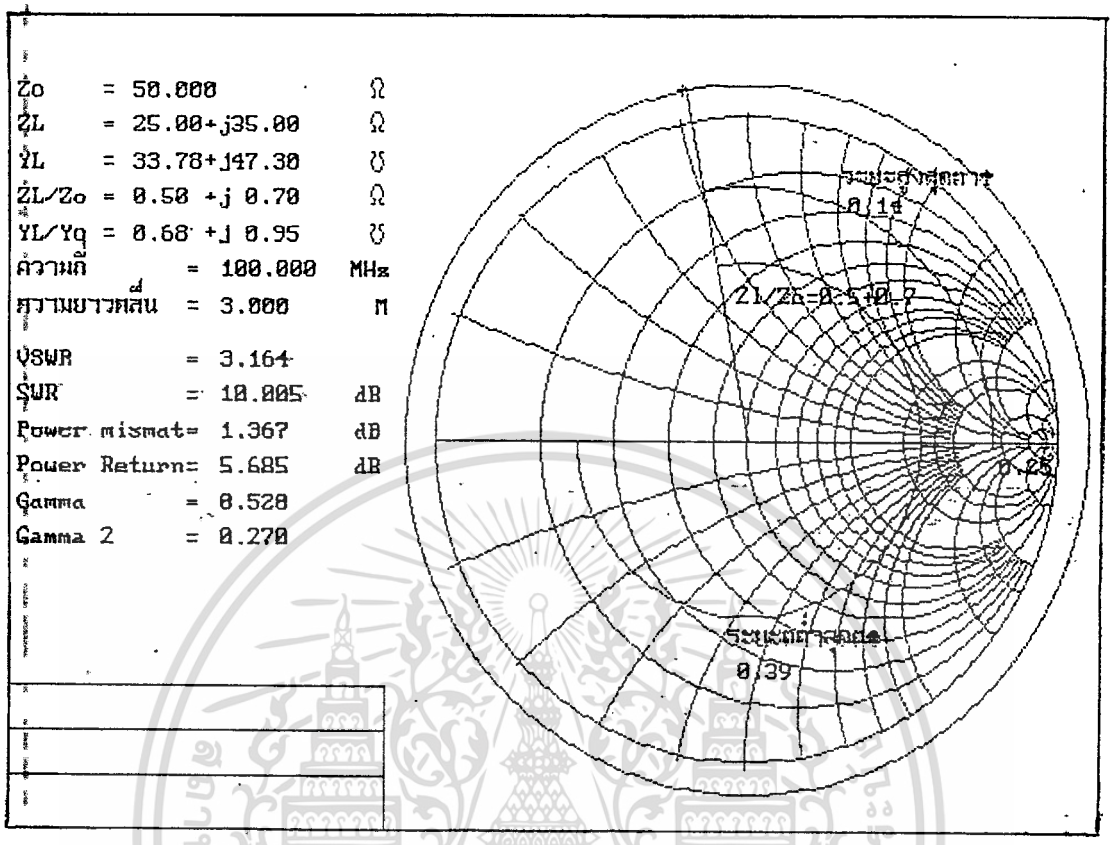
$= 0.140(17.1)$

$= 2.39$ cm.



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดจากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 4.6 ตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดจากการทดลองโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่เกิดแรงดันต่ำสุดตำแหน่งแรก ณ จุดความต้านทานเป็น 0 ซึ่งก็คือจุด C ของเส้นสเกลแนวนอน แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.5 ค่าความยาวคลื่นของจุด C จะเป็นได้ทั้ง 0.00λ หรือ 0.500λ

0.500λ (ตำแหน่งแรกของแรงดันต่ำสุด)

-0.110λ (ตำแหน่งของโหลด)

0.390λ (ระยะห่างจากโหลดถึงตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันต่ำสุด)

ระยะจากโหลดถึงจุดแรงดันต่ำสุดตำแหน่งแรก = 0.390λ(17.1)

= 6.67 cm.

ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อใส่ค่าตามโจทย์ตัวอย่างที่ 3 จากการเปรียบเทียบค่าระยะห่างตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการทดลองจะเห็นว่าค่าที่ได้นั้นจะมีค่าระยะห่างที่ใกล้เคียงกันและระยะห่างของตำแหน่งค่าตำแหน่งแรกที่เกิดแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดที่ได้จากการพล็อตจากรูปสมิธชาร์ตนั้นก็จะมีความใกล้เคียงกันด้วย

4.1.4 การหาสตับอนุกรมแบบเดี่ยวเพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด

การทดลองจะใส่ค่าตามโจทย์ตัวอย่างที่ 4 เพื่อหาค่าตำแหน่งที่จะใช้ต่อสตับและความยาวของสตับและรูปที่พล็อตได้จากการคำนวณนั้นก็จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าและรูปที่พล็อตได้จากการทดลอง ซึ่งจากการเปรียบเทียบนั้นจะได้ค่าและรูปที่มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยค่าที่ได้จากการคำนวณจะได้ดังตัวอย่างที่ 4

ตัวอย่างที่ 4

สายนำสัญญาณ 50 โอห์มเทอร์มิเนตปลายสายด้วยโหลด ZL=75+j65 ถ้าต้องการแมทช์โหลดเข้ากับสายนำสัญญาณโดยใช้สตับต่อขนาน จงหาตำแหน่งที่จะต่อสตับนี้และความยาวของสตับที่จะใช้ด้วย เมื่อใช้งานที่ความถี่เท่ากับ 1.5 GHz

วิธีหา

1.ก่อนอื่นต้องทำการนอร์มอลไลซ์ ZL

ZL = 75/50+j65/50

= 1.5+j1.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

2. พล็อตค่าที่ได้จากข้อ 1 ลงบนสมิธชาร์ตทำการวาดวงกลม VSWR จากนั้นลากเส้นตรงจากจุดพล็อตของโหลดผ่านจุดศูนย์กลางหลัก (จุดที่มีค่ารีซิสแตนซ์เท่ากับ 1.0) ไปตัดกับวงกลม VSWR จะได้ค่าแอดมิตแตนซ์ซึ่งเป็นค่าอินเวอร์สหรือส่วนกลับของค่าอิมพีแดนซ์ที่โจทย์บอกมาต่อออกไปตัดสเกล C จะได้ค่าความยาวคลื่น ณ ตำแหน่งแอดมิตแตนซ์นั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7

3. จากรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าวงกลม VSWR ตัดกับวงกลมคอนดัคแตนซ์ 1.0 ทั้ง 2 จุดคือจุดตัดที่ 1 และ 2 ให้เลือกจุดตัดที่ 1 เป็นตำแหน่งที่ต่อสตับ (เหตุที่เลือกจุดนี้ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้) ซึ่งอ่านจากสมิธชาร์ตในทิศทางพุ่งเข้าแหล่งกำเนิด (Wavelengths toward generator)หรือวงตามเข็มนาฬิกามีค่าเป็น

$$d1 = 0.058+0.166$$

$$= 0.224\ \lambda$$

4. เนื่องจากโจทย์กำหนดความถี่ใช้งานเท่ากับ 1.5 GHz ใช้สมการที่ 1 จะได้ค่าเป็น

$$\lambda(cm) = 30/f(GHz)$$

$$= 30/1.5$$

$$= 20\ cm.$$

ฉะนั้นระยะห่าง d1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จะต่อสตับขนานมีค่าเท่ากับ

$$d = 0.224\ \lambda$$

$$= 0.224(20)$$

$$= 4.88\ cm.$$

5.เพราะว่าค่าแอดมิตแตนซ์ของโหลดเท่ากับ

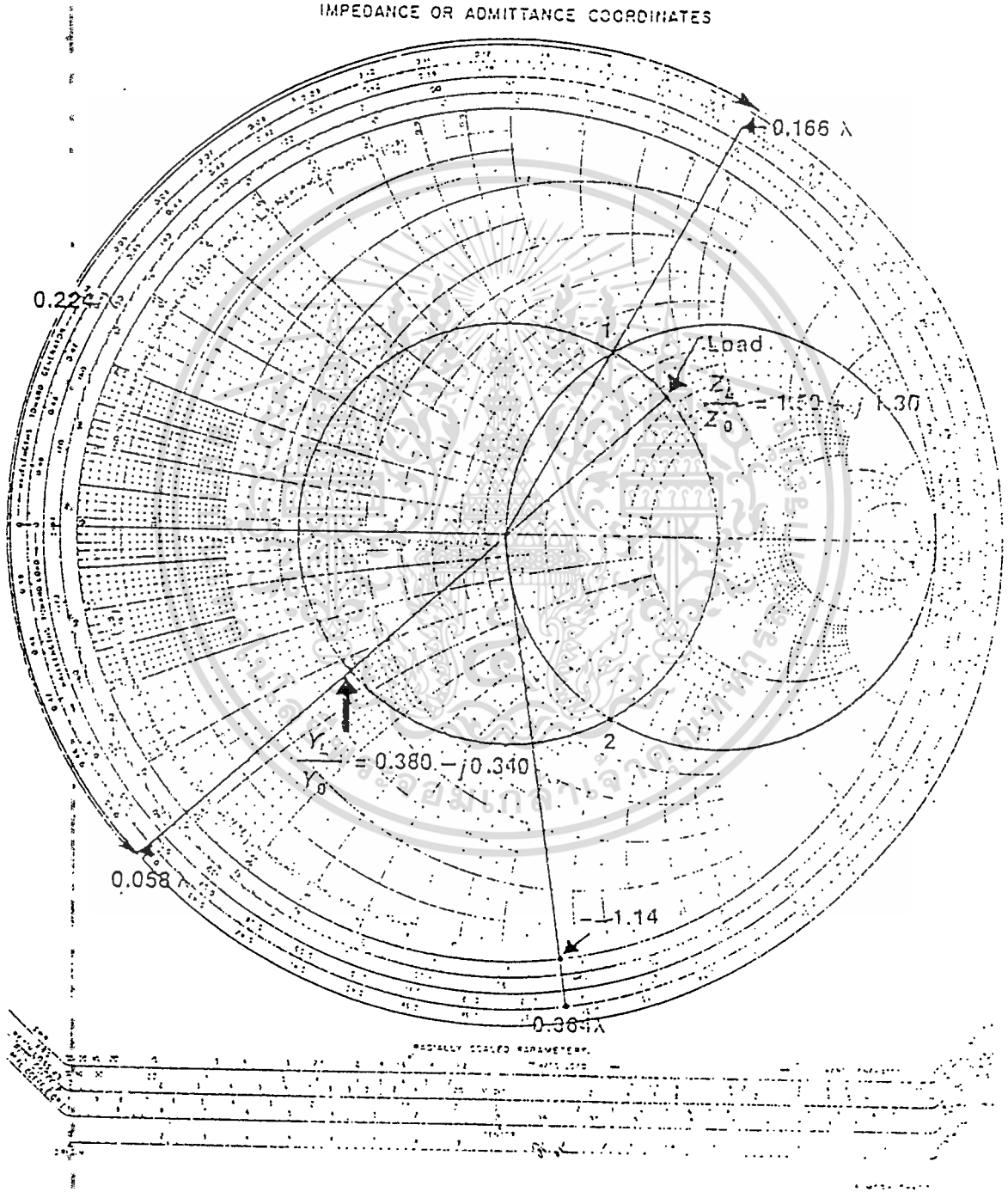
$$YL/Yo = 1.0+j1.14$$

ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อเราใส่ค่าตามโจทย์ตัวอย่างที่ 4 ทำการเปรียบเทียบตำแหน่งที่ใช้ต่อสตับและความยาวของสตับที่ได้จากการคำนวณนั้นกับค่าที่เราได้จากการทดลอง ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้นั้น

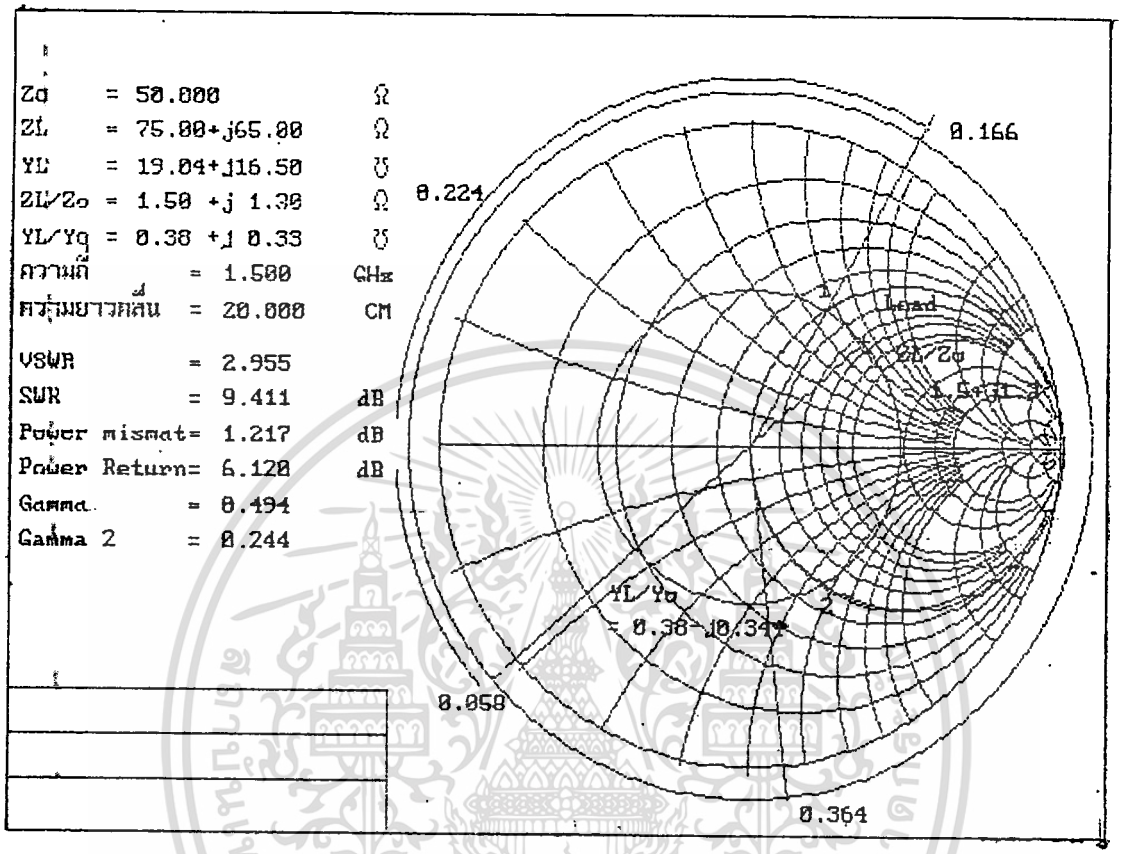
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใกล้เคียงกันมากและรูปที่พล็อตค่าตำแหน่งที่ใช้ต่อสตับและความยาวของสตับที่ได้จากการพล็อตนั้นก็จะมีความใกล้เคียงกันด้วย



รูปที่ 4.7 ค่าระยะห่างและความยาวของสตับแบบเดี่ยวจากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ... เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ค่าระยะห่างและความยาวของสตับแบบเดี่ยวจากการทดลองโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การหาสตับขนานแบบคู่เพื่อแมทชิ่งสายนำสัญญาณกับโหลด

ตามโจทย์ตัวอย่างที่ 5 ซึ่งจะให้หาค่าความยาวของสตับ 2 ชุด โดยบอกระยะความห่างมาให้แล้ว จากนั้นให้นำค่าความยาวที่คำนวณได้และรูปที่พล็อตได้จากการคำนวณนั้น มาทำการเปรียบเทียบกันกับค่าและรูปพล็อตที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจากการเปรียบเทียบนั้นก็จะได้ค่าความยาวของสตับทั้ง 2 และรูปที่พล็อตได้ที่มีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย ค่าที่ได้จากการคำนวณจะได้ดังตัวอย่างที่ 5

ตัวอย่างที่-5 จงหาความยาวของสตับ 2 ชุดซึ่งใช้แมทช์โหลดที่ต่อปลายสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม กำหนดให้ใช้งานที่ความถี่ 500 MHz โหลดที่ต่อมีค่าเป็น 0.036+j0.03s และสตับ 2 ชุด ดังกล่าวจางห่างกัน 3/8 λ

วิธีหา

1.ทำการนอร์มอลไลซ์โหลดแอดมิตแตนซ์และพล็อตบนสมิธชาร์ตดังรูปที่ 4.9

$$Yo = 1/Zo$$

$$= 1/50$$

$$= 0.02s$$

ดังนั้น

$$YL/Yo = 0.036/0.02 + j0.03/0.02$$

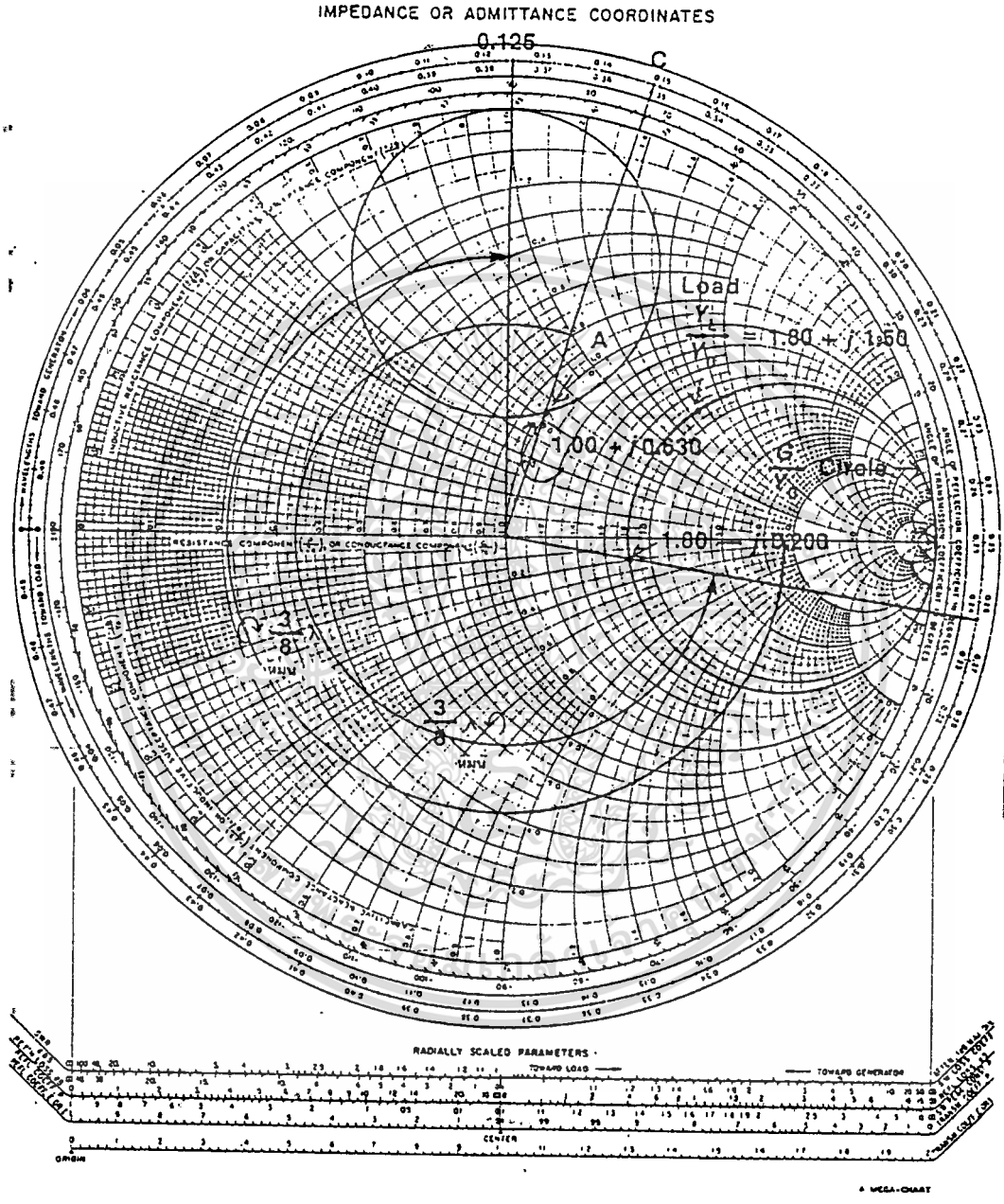
$$= 1.80+j1.50$$

2. ทำการวาดวงกลม G/Yo = 1.8 จากนั้นหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาให้ไปเป็นระยะทาง 3/8λ ดังในรูปที่ 4.9 (3/8λ = 0.375λ) เพราะว่าครึ่งรอบของวงกลมตามสเกลความยาวคลื่นวงนอกสุดมีค่าเป็น 0.250λ ดังนั้น 0.375λ-0.250λ = 0.125λ ก็จะเป็นระยะห่างที่เหลือซึ่งเริ่มต้นจากจุดทางด้านซ้ายสุดก็จะทำการตรวจสอบให้วงกลม G/Yo และวงกลมรีซิสแตนซ์เท่ากับ 1.0 ตัดกันจริงๆ ถ้าวงกลมทั้งสองไม่ตัดกันให้เพิ่มระยะทางขึ้นไปอีกแต่ไม่เกิน 1/2 λ

3. เลือกจุดตัดที่ 1 จะได้ค่าจริงหรือค่าอินพุทคอนดัคแตนซ์เท่ากับ 1.0 (วงกลม constant G = 1.0) ค่าจินตภาพหรืออินพุทซัสเซฟแตนซ์เท่ากับ j0.63 (อ่านจากสเกล B ดังในรูป) ดังนั้นจะได้

$$Yinput/Yo = 1+j0.630$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การใช้สมิธชาร์ตแก้ปัญหาในตัวอย่างที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3 และ 4 จะเป็น

$$1+jo = Y1/Yo+(1+j0.630)$$

$$Y1/Yo = -j0.630$$

จากสมการที่ 1

$$\lambda\ (cm) = 30/f(MHZ)$$

$$= 30/0.500$$

$$= 60\ cm.$$

และจากสมิธชาร์ตในรูปที่ 4.10 (ก.) ที่ระยะจากจุดชอร์ตถึงจุดที่ค่าอินพุทแอดมิตแตนซ์เท่ากับ -j0.630 โอห์ม มีค่าเท่ากับ 0.410λ

ดังนั้นความยาวของสตับ 1 $= 0.410\ \lambda$

$$= 0.410\ (60)$$

$$= 24.6\ cm.$$

4. ลากเส้นตรงจากจุดที่ 1.0 ผ่านจุดตัดของวงกลม G/Yo = 1.8λ ซึ่งได้หมุนมากับวงกลมค่า Constant G = 1.0 ไปตัดที่สเกลนอกสุดที่จุด C จากนั้นหมุนเส้นตรงเส้นนี้ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาด้วยระยะทางของ 3/8λ เส้นตรงที่หมุนมานี้จะตัดกับวงกลม G/Yo ได้จุดตัด 2 จุด ดังรูปที่ 4.9 จุดตัดที่ได้จะแทนผลรวมของ Y2 กับ YL และจากสมิธชาร์ตจะได้ค่าแอดมิตแตนซ์จากจุดตัดที่เลือกเท่ากับ

$$[Y2/Yo+YL/Yo] = 1.80-j0.20$$

จากสมการที่ 10

$$Y2/Yo = [Y2/Yo+YL/Yo] -YL/Yo$$

$$= (1.80-j0.20)-(1.80+j1.50)$$

$$=-j1.70$$

และจากสมิธชาร์ตในรูปที่ 4.10 (ข.) จะได้สตับปลายเปิด -j1.70 มีค่าตามสเกล C เป็น 0.334λ

ดังนั้นความยาวของสตับ 2 $= 0.334\lambda$

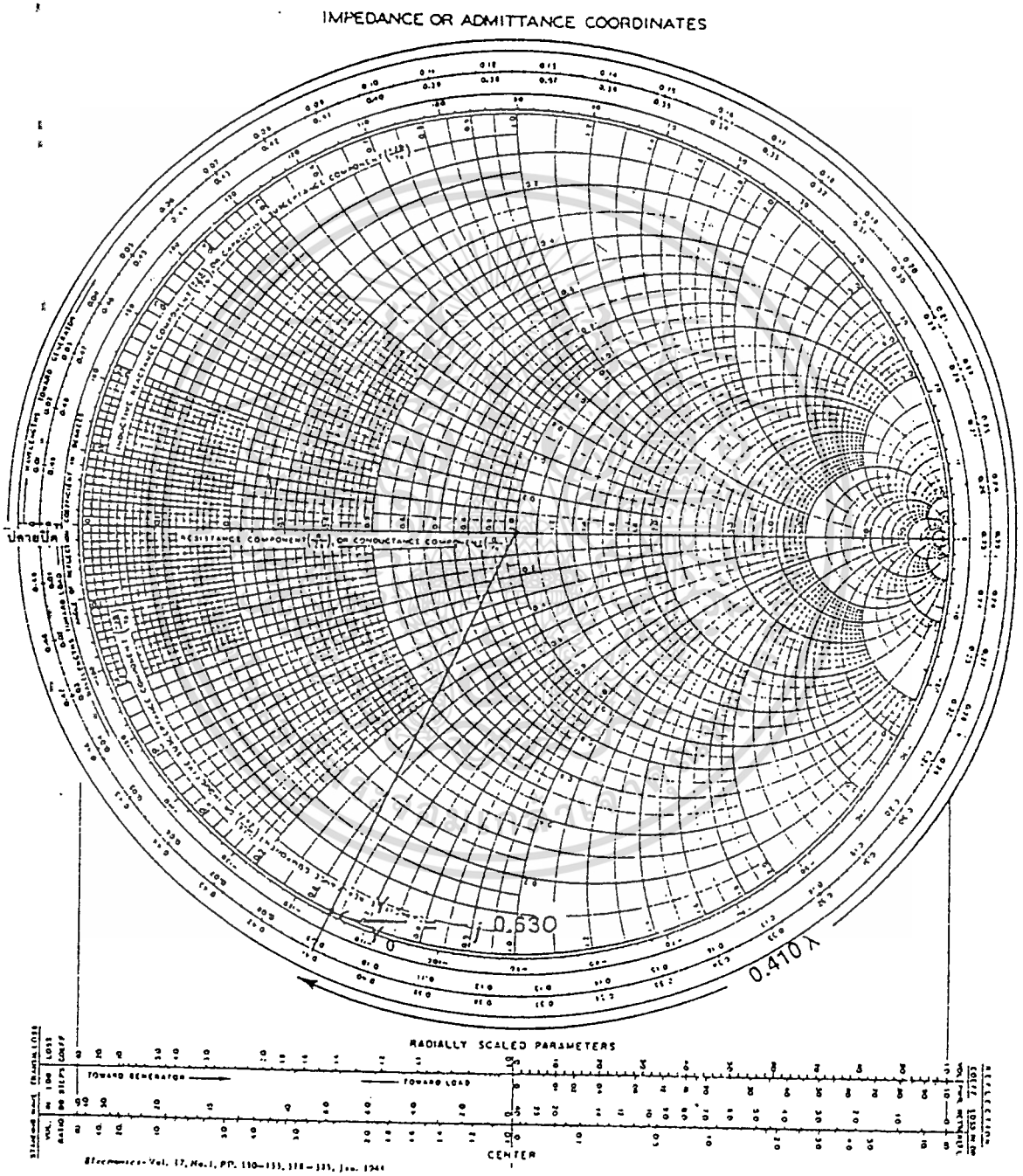
$$=0.334(60)$$

$$= 20\ cm$$

ระยะห่างระหว่างสตับ 1 และ 2 จะมีค่าเป็น

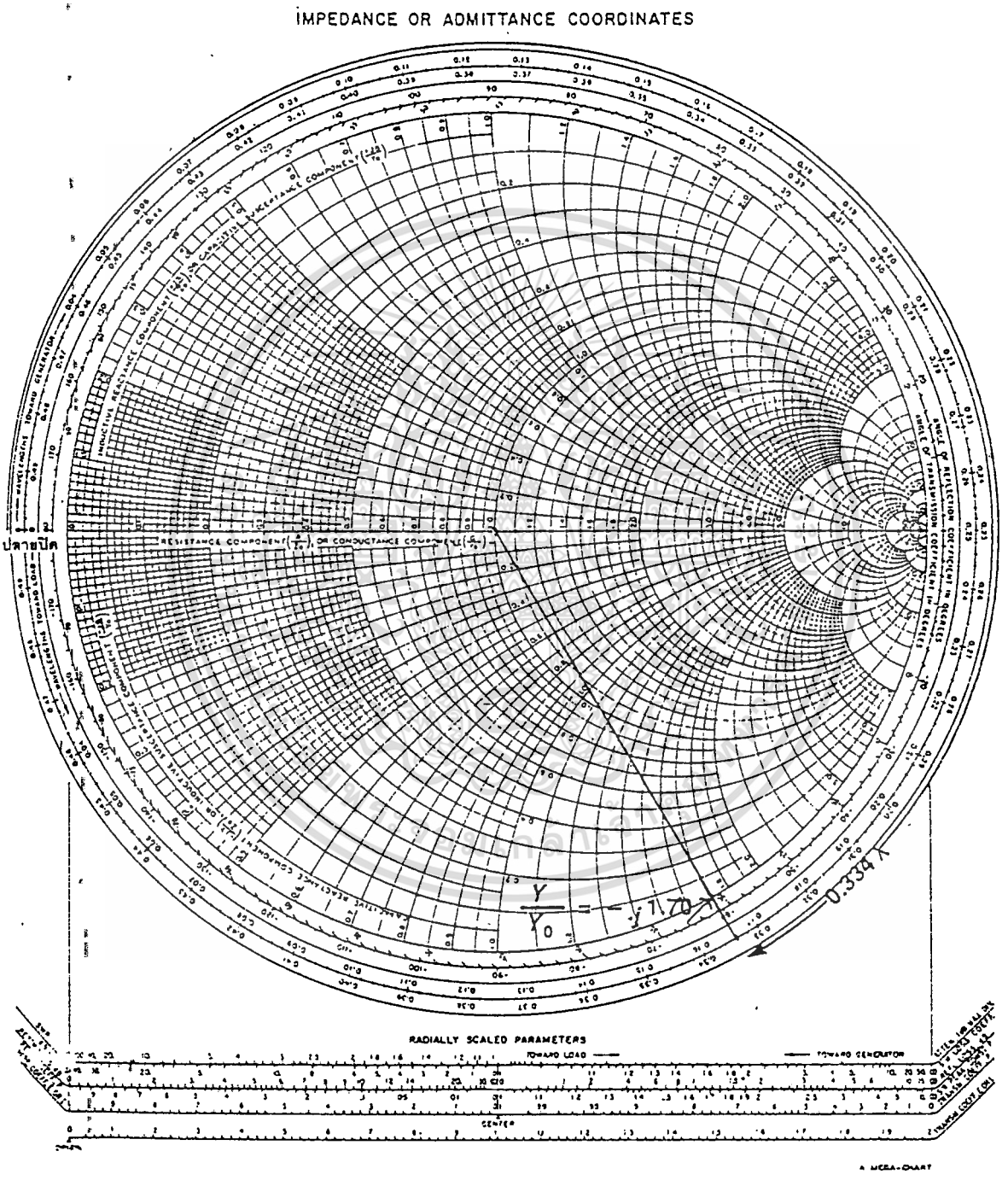
ระยะระหว่างสตับ 1 และ สตับ 2 = 0.375 λ = 0.375(60) = 22.5 cm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



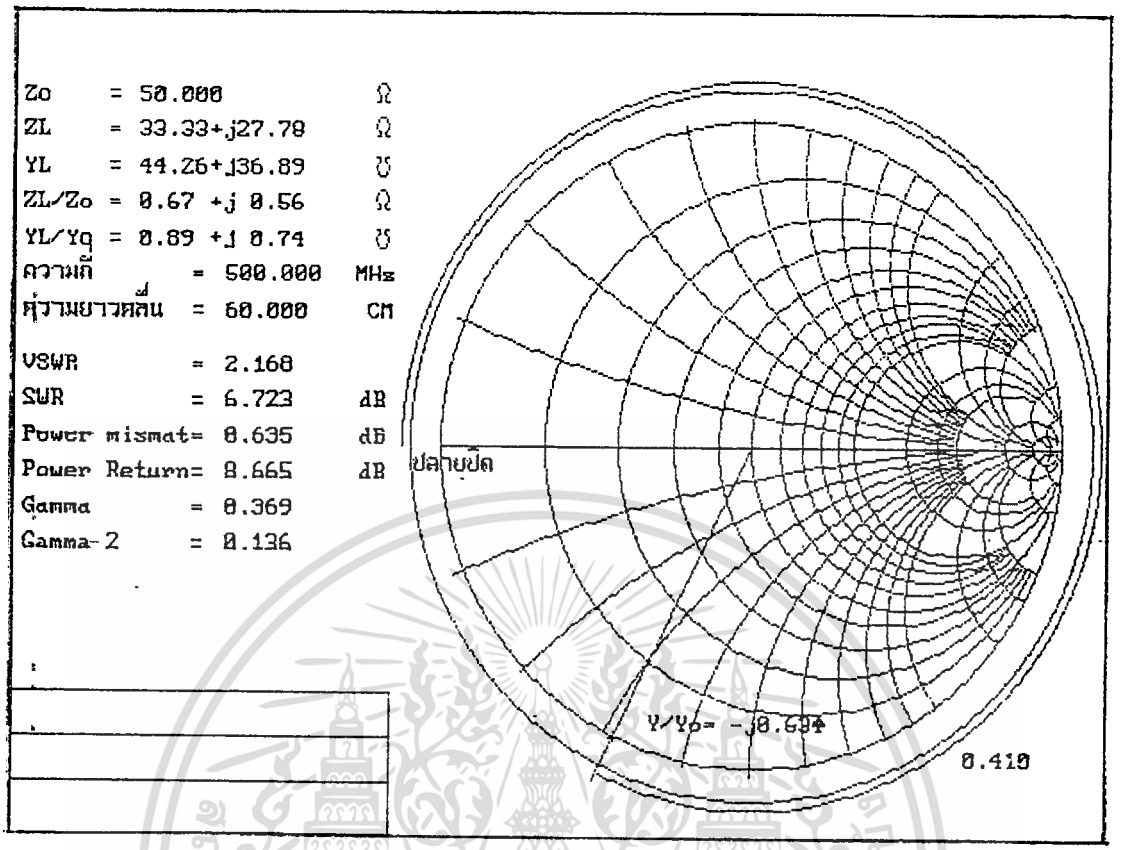
รูปที่ 4.10(ก.) การหาความยาวของสตับ 1 จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



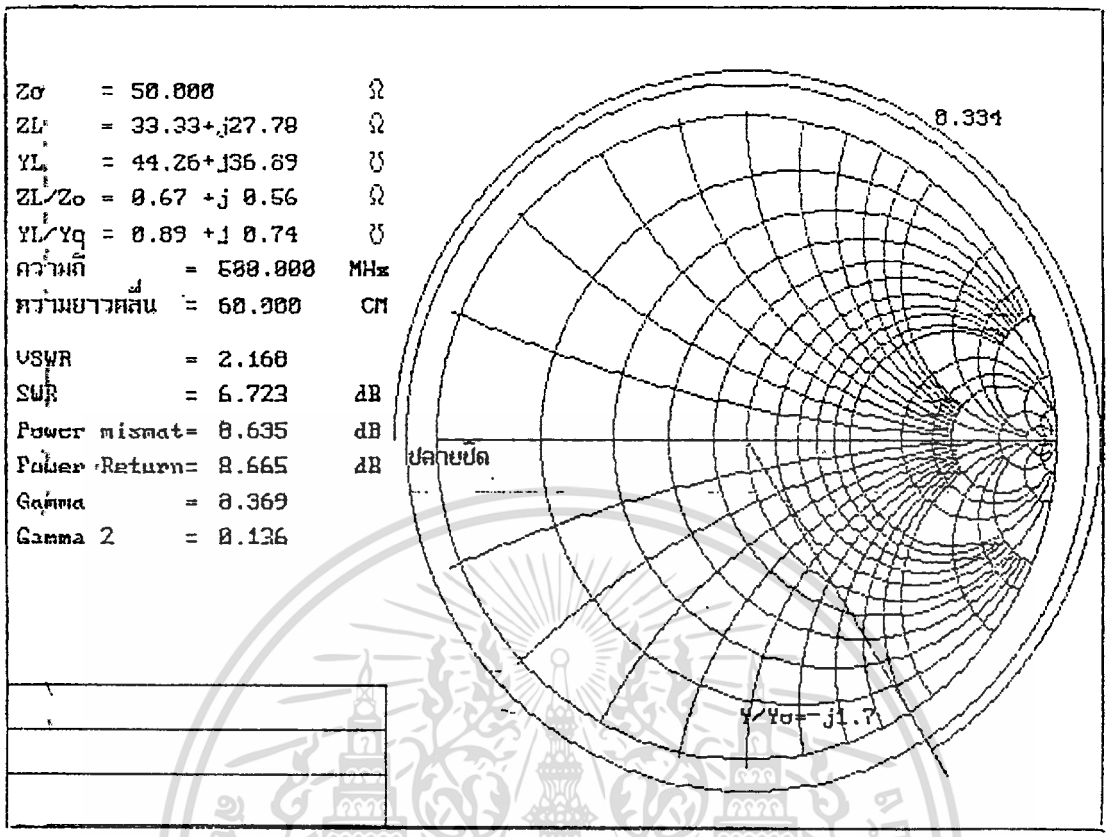
รูปที่ 4.10 (ข.) การหาความยาวของสตับ 2. จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 (ก.) การหาความยาวสตับ 1 ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 (ข.) การหาความยาวสตับ 2 ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

เราจะเห็นได้ว่าถ้าหากทำการคำนวณจะต้องทำการคำนวณหาทีละสตับก่อน ซึ่งจะเป็นยุ่งยากในการคำนวณหาค่า แต่จากการทดลองเมื่อเราใส่ค่าตามโจทย์ตัวอย่างที่ 5 และทำการเปรียบเทียบค่าความยาวของสตับ 2 ชุด จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้นั้นก็จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากและรูปที่พล็อตค่าความยาวของสตับ 2 ชุด ที่ได้นั้นก็จะมีความใกล้เคียงกันด้วย

4.2 สรุปผลการทดลอง

ผลจากการทดลองตามโจทย์ตัวอย่างทั้ง 5 ข้อ ที่ผ่านมานั้น ในการทดลองแต่ละข้อนั้นเมื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกัน ค่าที่ได้จะเป็นค่าที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เพราะการหาค่าโดยวิธีการคำนวณนั้นจะมีความละเอียดในการหาค่า ซึ่งเราจะสามารถตรวจสอบขั้นตอนการคำนวณเพื่อหาข้อความผิดพลาดได้และค่าที่หาได้นั้นความแม่นยำของค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเพียงแค่จุดทศนิยม ซึ่งอาจไม่เป็นผลเท่าไรนักในการพล็อตรูปบนสมิธชาร์ต แต่ความสะดวกและรวดเร็วในการหาค่านั้นจะเป็นข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดและเมื่อเปรียบเทียบรูปที่พล็อตออกมาจากทั้งสองวิธีจะมีความใกล้เคียงกันแต่ความละเอียดในการพล็อตค่าต่าง ๆ จะเป็นข้อที่แตกต่างเนื่องจากความละเอียดของสมิธชาร์ตทั้งสองแบบนั่นเอง ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบทั้งหมดนี้สามารถที่จะแก้ไขได้ โดยการแก้ไขโปรแกรมให้มีความละเอียดยิ่งขึ้น และจากความสะดวกในการใช้งานรวมทั้งผลที่ได้จากการทดลองเห็นได้ว่าเราสามารถที่จะนำโปรแกรมสมิธชาร์ตมาทำการคำนวณหาค่าและแก้ปัญหาต่าง ๆ เพื่อที่จะนำผลที่ได้นำไปใช้งานจริงหรือนำไปอ้างอิงในทฤษฎีในการเรียนการสอนได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์สรุปและแนวทางในการพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากการทดลองทำโปรแกรมสมิธชาร์ตที่ได้ไปใช้งานจริงๆนั้นปรากฏว่าสามารถให้ค่าต่างๆที่ต้องการได้ตรงตามทฤษฎีและการใช้งานจากสมิธชาร์ตบนกระดาษจริง แต่อาจจะมีค่าผิดพลาดไปบ้างแต่ก็เป็นเพียงเล็กน้อย ซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การใช้งานโปรแกรมสามารถที่จะใช้ผ่านเมนูได้อย่างสะดวก แต่โปรแกรมยังมีข้อจำกัดอยู่ ที่ไม่สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์อื่นๆที่ซับซ้อนได้เอง

5.2 ปัญหาในการเขียนโปรแกรม

5.2.1 ข้อมูลของการใช้สมิธชาร์ตยังมีน้อยอยู่

5.2.2 คอมพิวเตอร์มีหน่วยความจำจำกัดทำให้การเขียนโปรแกรมมีข้อจำกัดและจะต้องเขียนโปรแกรมให้ใช้หน่วยความจำน้อยที่สุดด้วย

5.2.3 ภาพของสมิธชาร์ตยังมีความละเอียดไม่เพียงพอ

5.3 แนวทางการพัฒนา

5.3.1 พัฒนาให้สามารถเลือกลักษณะของเส้นที่วาดลงไปให้มีความแตกต่างจากเส้นของสมิธชาร์ต เช่น เส้นปะหรือเส้นหนาเป็นต้น

5.3.2 พัฒนาให้โปรแกรมสามารถนำเอาภาพสมิธชาร์ตพล็อตออกที่พล็อตเตอร์และสามารถเลือกสีได้

5.3.3 พัฒนาให้โปรแกรมสามารถออกแบบวงจรสมมูลย์ได้

5.3.4 พัฒนาให้โปรแกรมมีกราฟอย่างอื่น เช่น กราฟเซมิล็อก เพื่อเปรียบเทียบค่าต่างๆในตารางให้เห็นเป็นรูปธรรมมากขึ้น

5.3.5 พัฒนาให้โปรแกรมสามารถนำรูปสมิธชาร์ต 2 รูปมาเปรียบเทียบความแตกต่างได้

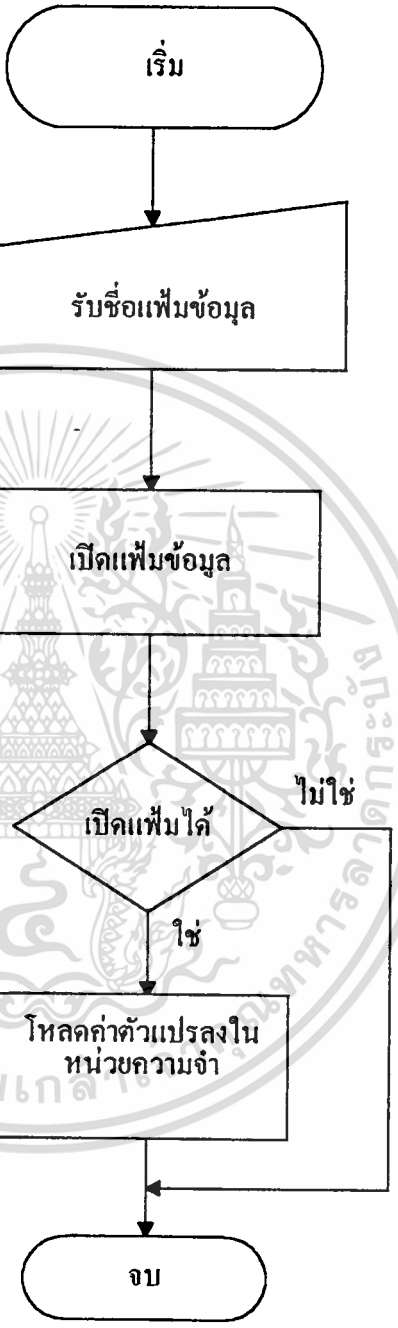
5.3.6 พัฒนาระบบการจัดเก็บแฟ้มข้อมูลให้มีความรัดกุมมากขึ้น

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

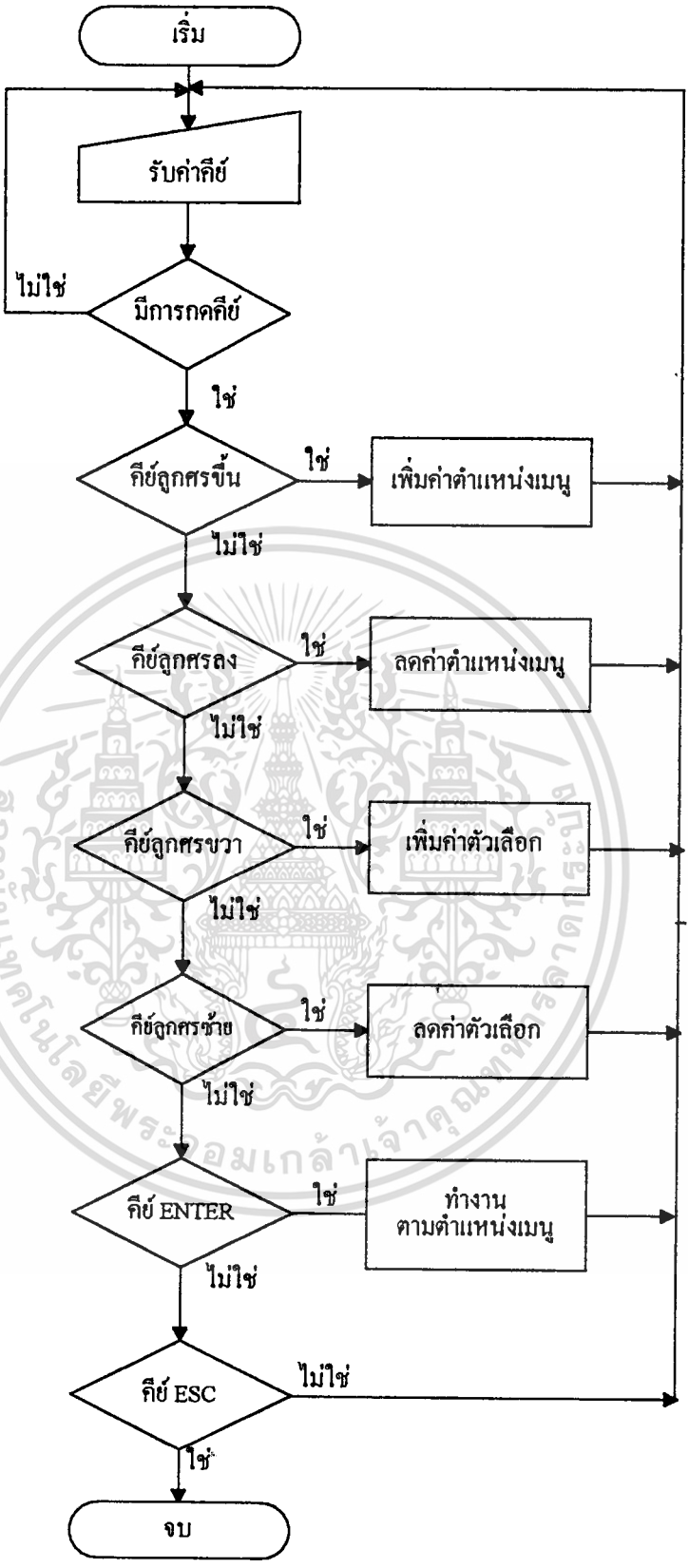
ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



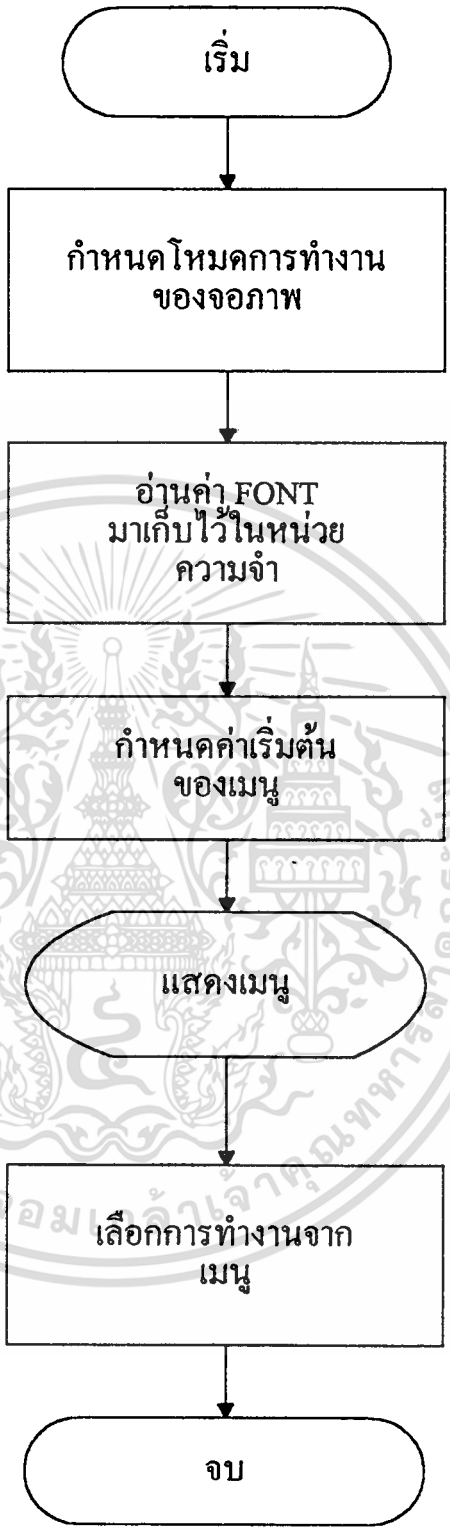
โฟล์วชาร์ตการโหลดแฟ้มข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



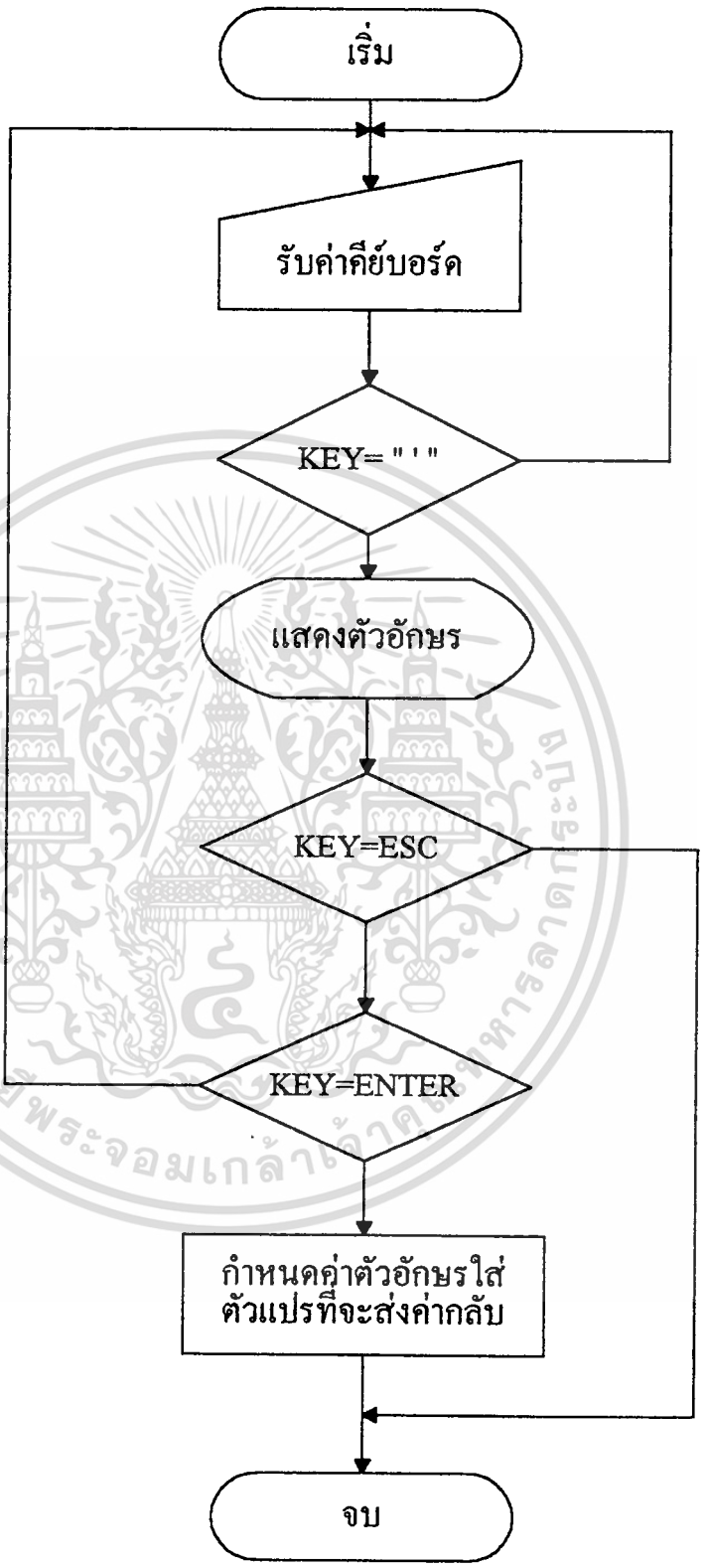
โฟล์วชาร์ตเมนู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



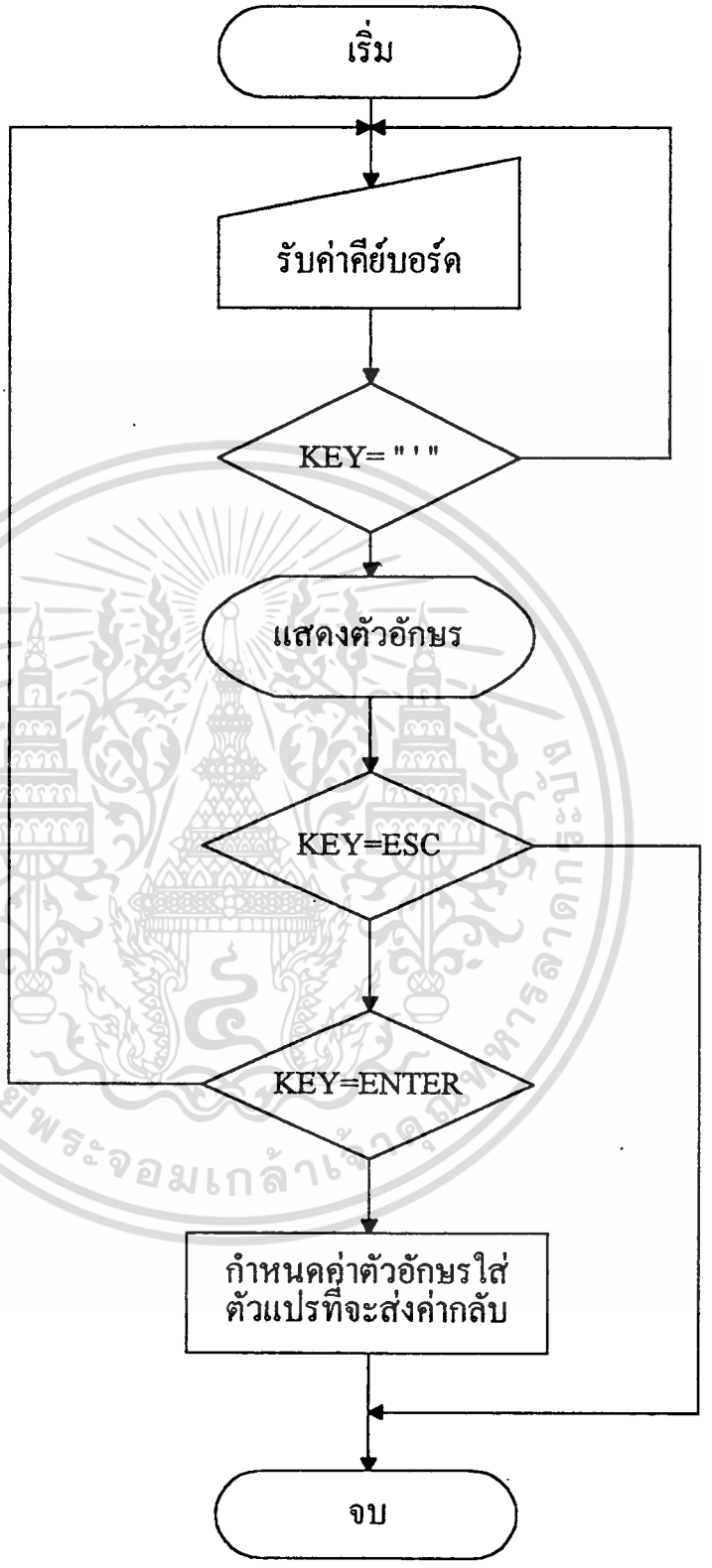
โฟล์วชาร์ตการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



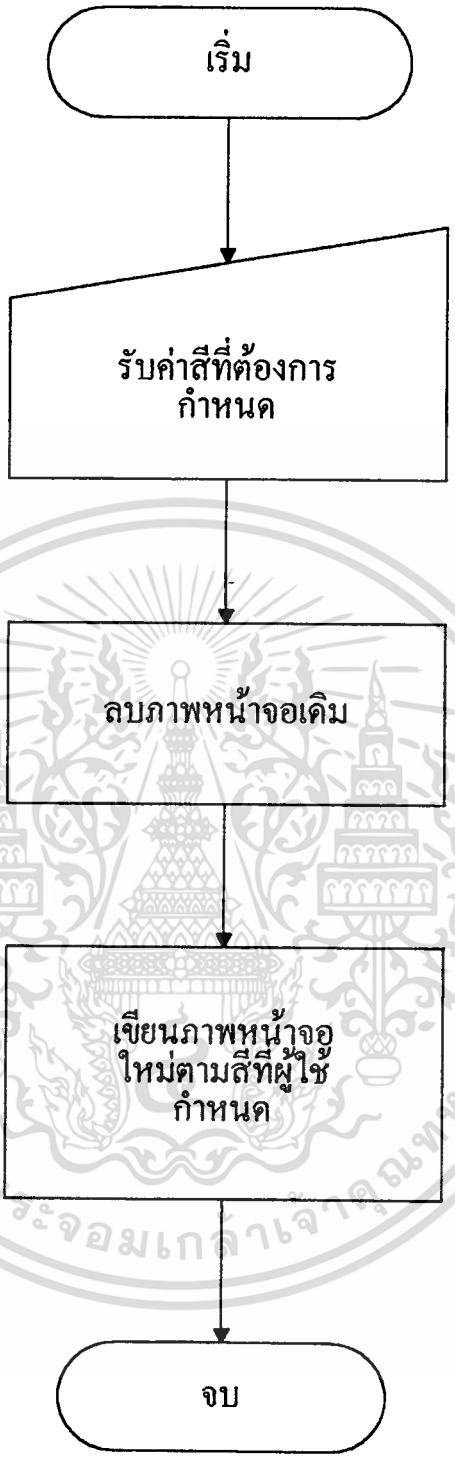
โฟล์วชาร์ตการรับค่าจากคีย์บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โฟล์วชาร์ตการโหลดและการจัดเก็บแฟ้มข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

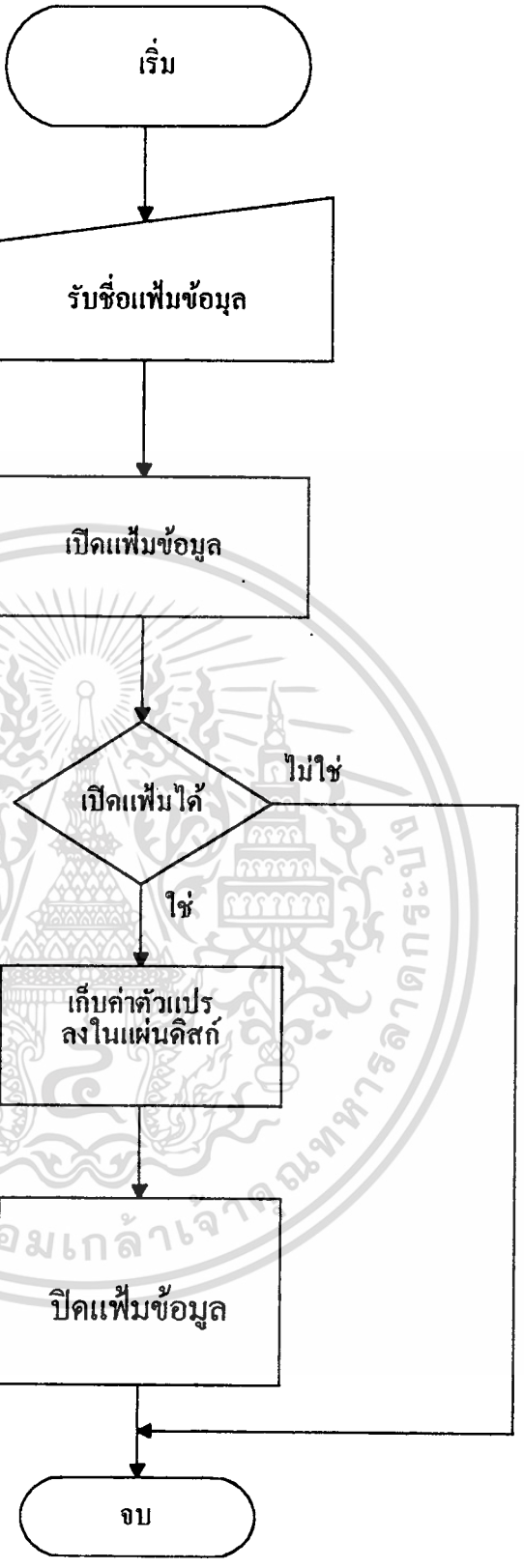


โฟล์วชาร์ตการกำหนดสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟล์วชาร์ตการวาดภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โฟล์วชาร์ตการจัดเก็บแฟ้มข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม SMITH.PRJ

โปรแกรม SMITH.PRJ เป็นโปรแกรมที่มีส่วนสำคัญมาก เพราะเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการรวบรวมโปรแกรมต่างที่เราแยกกันเขียนไว้มาทำการ LINK เข้าด้วยกันเมื่อผ่านขั้นตอนนี้เราจะได้โปรแกรมที่ชื่อว่า SMITH.EXE ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ทันที

menug.c (scancode1.h)

chart.c (scancode1.h)

choice.c (scancode1.h)

thaidrv.c

mose_inf.c

file.c (scancode1.h)

crtprint.c

cadd1.c (scancode1.h)

sound.c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม MENUG.C คือโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างเมนูของสมิธชาร์ต โปรแกรมทั้งหมด โดยจะมีการสร้าง include ที่ชื่อ scancode.hไว้ด้วยเพื่อเก็บค่า สแกนโค๊ด (scancode) ของแป้นพิมพ์ไว้มีการเก็บค่าตัวแปรเป็นตัวแปรโครงสร้าง Structure โดยจะมีโครงสร้างเป็น menu[],frame[],item และ choice

```
#include"scancode.h"

#define NO_CHOICE          10
#define NO_MAIN_MENU       6
#define TOTAL_MENU         8

extern char file_name[13];
typedef struct heading
{
        char *choice;
} /* data structure of choice heading */
 /* data structure of a menu */
typedef struct menu_struct
{       int frame[4];
        int row[NO_CHOICE];
        int col;
        struct heading item[NO_CHOICE];
        int last_choice;
};
struct menu_struct menus[TOTAL_MENU];
void far *pic_no;
unsigned int size;
int rad;
int dx,dy;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int short diskerr=0;
```

การประกาศชื่อฟังก์ชั่นต่างๆที่ใช้ในการสร้างเมนู

```
void Menu_Assignment(void);
void Display_Main_Menu(void);
void Display_Menu(int menu_no);
void Select_Menu(int menu_no,int choice_no);
void Select_hlp_menu(int menu_no,int choice);
void Call_function(int menu_no,int choice_no);
struct menu_status Clik_head(struct menu_status M,int xpix);
struct menu_status Check_row(struct menu_status M,int ypix);
int Readkey(void);
void Invese_head_menu(int menu);
void Normal_head_menu(int menu);
void Invese_menu(int menu_no);
void Normal_menu(int menu_no);
void Invese_choice(int menu_no,int choice_no);
void Normal_choice(int menu_no,int choice_no);
void Save_pic(int menu_no);
void Load_pic(int menu_no);
void Osshell(void);
void Tirtle(void);
void Zoomin(void);
void Zoomout(void);
void Move(void);
void Color_pattern(void);
void Mongkut(void);
void interrupt (*old24)();
void Help_Edit();
void About_Program();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Critical ERROR handle function reduce

ฟังก์ชั่น interrupt int24 ฟังก์ชั่นนี้จะถูกเรียกใช้เมื่อเกิดข้อผิดพลาดระหว่างการใช้งานโปรแกรม

```
void interrupt int24 (bp,di,si,ds,es,dx,cx,bx,ax,ip,cs,flag)
{       /* Print masseg & wait for key press */
        diskerr=1;
        ax=0; /* Return release function call */
}
```

MAIN

ฟังก์ชั่น main() เป็นโปรแกรมหลักในการสร้างเมนู โดยเริ่มจากการตั้งค่าอินเตอรัพเวคเตอร์ การตั้งโหมดการทำงานในโหมดกราฟฟิค แล้วทำการอ่านค่ารูปแบบภาษาไทยมาเก็บไว้ทำการแสดงไตเติลก่อนเข้าสู่โปรแกรมการใช้งานตั้งค่าการใช้งานของ เม้าส์ กำหนดค่าต่างๆ ในการสร้างเมนู ทำการแสดงเมนูตามโปรแกรมที่ออกแบบไว้แล้วทำการรีเซ็ท (reset) ค่าตัวแปรหลักทั้งหมด จากนั้นจะเป็นการเลือกใช้งานของผู้ใช้โปรแกรมสมิธชาร์ตจนกว่าจะได้รับคำสั่งให้ออกจากโปรแกรมสุดท้ายก็จะออกจากโปรแกรมกราฟฟิค

```
main()
{
        old24=getvect(0x24); /* Set interrupt vector */
        setvect(0x24,int24);
        clrscr();
        Initial_gph();
        Readfont();
        Tirtle();
        Mouse_initialize();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Menu_Assignment();
Display_Main_Menu();
Mouse_img(HAND);
New();

Select_Menu(0,1);
closegraph();
setvect (0x24, old24);
return;
}
```

END MAIN

ฟังก์ชั่น Menu_Assignment ฟังก์ชั่นตั้งค่าตัวแปรต่างไให้กับเมนู

```
void Menu_Assignment(void)
  {     int rowwidth=22;
        int rowgap=18;
        int hgap=12;
        int colwidth=9;
```

ส่วนต่อไปนี้เป็นการตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ในการสร้างเมนูแฟ้ม

```
/* assign menu no.0 menu file */
menus[0].frame[0] = 0;
menus[0].frame[1] = 51;
menus[0].frame[2] = 165;
menus[0].frame[3] = 200;
menus[0].row[0] = rowwidth+hgap;
menus[0].row[1] = 2*rowwidth+rowgap;
menus[0].row[2] = 3*rowwidth+rowgap;;
menus[0].row[3] = 4*rowwidth+rowgap;;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
menus[0].row[4] = 5*rowwidth+rowgap;;
menus[0].row[5] = 6*rowwidth+rowgap;;
menus[0].row[6] = 7*rowwidth+rowgap;;
menus[0].col = (3-1)*colwidth;
menus[0].item[0].choice = "แฟ้ม";
menus[0].item[1].choice = "เปิดแฟ้มข้อมูลใหม่";
menus[0].item[2].choice = "เปิดแฟ้มข้อมูลเก่า";
menus[0].item[3].choice = "จัดเก็บแฟ้มข้อมูล";
menus[0].item[4].choice = "พิมพ์แฟ้มข้อมูล";
menus[0].item[5].choice = "ออกไป DOS ชั่วคราว";
menus[0].item[6].choice = "ออกจากโปรแกรม";
menus[0].last_choice = 6; [เก็บ choice ตัวสุดท้ายคือ 6 ]
```

ส่วนต่อไปนี้เป็นการตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ในการสร้างเมนูมุมมอง

```
/* assign menu no.1 menu view */
menus[1].frame[0] = 65;
menus[1].frame[1] = 51;
menus[1].frame[2] = 180;
menus[1].frame[3] = 130;
menus[1].row[0] = rowwidth+hgap;;
menus[1].row[1] = 2*rowwidth+rowgap;;
menus[1].row[2] = 3*rowwidth+rowgap;;
menus[1].row[3] = 4*rowwidth+rowgap;;
menus[1].col = (10-1)*colwidth;;
menus[1].item[0].choice = "มุมมอง";
menus[1].item[1].choice = "ย่อภาพ";
menus[1].item[2].choice = "ขยายภาพ";
menus[1].item[3].choice = "เคลื่อนย้ายภาพ";
menus[1].last_choice = 3;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนต่อไปนี้เป็นการตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ในการสร้างเมนูกำหนดสี

```
/* assign menu no.2 menu Edit */
menus[2].frame[0] = 135;
menus[2].frame[1] = 51;
menus[2].frame[2] = 305;
menus[2].frame[3] = 157;
menus[2].row[0] = rowwidth+hgap;;
menus[2].row[1] = 2*rowwidth+rowgap;;
menus[2].row[2] = 3*rowwidth+rowgap;;
menus[2].row[3] = 4*rowwidth+rowgap;;
menus[2].row[4] = 5*rowwidth+rowgap;;
menus[2].col = (18-1)*colwidth;;
menus[2].item[0].choice = "ตัวเลือก";
menus[2].item[1].choice = "กำหนดสี SMITH-CHART";
menus[2].item[2].choice = "กำหนดสีพื้น";
menus[2].item[3].choice = "กำหนดสีของรูปที่จะวาด";
menus[2].item[4].choice = "กำหนดสีของรูปที่จะลบ";
menus[2].last_choice = 4;
```

ส่วนต่อไปนี้เป็นการตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ในการสร้างเมนูเปลี่ยนค่าตัวแปร

```
/* assign menu no.4 menu change value */
menus[3].frame[0] = 225;
menus[3].frame[1] = 51;
menus[3].frame[2] = 430;
menus[3].frame[3] = 220;
menus[3].row[0] = rowwidth+hgap;
menus[3].row[1] = 2*rowwidth+rowgap;
menus[3].row[2] = 3*rowwidth+rowgap;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
menus[3].row[3] = 4*rowwidth+rowgap;
menus[3].row[4] = 5*rowwidth+rowgap;
menus[3].row[5] = 6*rowwidth+rowgap;
menus[3].row[6] = 7*rowwidth+rowgap;
menus[3].row[7] = 8*rowwidth+rowgap;
menus[3].col = (28-1)*colwidth;
menus[3].item[0].choice = "เปลี่ยนค่าตัวแปร";
menus[3].item[1].choice = "ความต้านทานเอ้าท์พุท";
menus[3].item[2].choice = "ความต้านทานโหลด";
menus[3].item[3].choice = "ค่า ADMITTANCE";
menus[3].item[4].choice = "ความต้านทานโหลดนอมอลไลส์";
menus[3].item[5].choice = "ADMITTANCE นอมอลไลส์";
menus[3].item[6].choice = "ความถี่";
menus[3].item[7].choice = "ความยาวคลื่น";
menus[3].last_choice = 7;
```

ส่วนต่อไปนี้เป็นการตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ในการสร้างเมนูวาด

```
/* assign menu no.5 menu Draw */
menus[4].frame[0] = 360;
menus[4].frame[1] = 51;
menus[4].frame[2] = 505;
menus[4].frame[3] = 170;
menus[4].row[0] = rowwidth+hgap;
menus[4].row[1] = 2*rowwidth+rowgap;
menus[4].row[2] = 3*rowwidth+rowgap;
menus[4].row[3] = 4*rowwidth+rowgap;
menus[4].row[4] = 5*rowwidth+rowgap;
menus[4].row[5] = 6*rowwidth+rowgap;
menus[4].col = (43-1)*colwidth;
menus[4].item[0].choice = "วาด";
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
menus[4].item[1].choice = "ความต้านทานโหลด";
menus[4].item[2].choice = "วงกลม VSWR";
menus[4].item[3].choice = "ADMITTANCE";
menus[4].item[4].choice = "หมายเหตุ";
menus[4].item[5].choice = "ลบภาพ";
menus[4].last_choice = 5;
```

ส่วนต่อไปนี้เป็นการตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ในการสร้างเมนูเครื่องมือ

```
/* assign menu no.6 menu Tool */
menus[5].frame[0] = 430;
menus[5].frame[1] = 51;
menus[5].frame[2] = 630;
menus[5].frame[3] = 260;
menus[5].row[0] = rowwidth+hgap;
menus[5].row[1] = 2*rowwidth+rowgap;
menus[5].row[2] = 3*rowwidth+rowgap;
menus[5].row[3] = 4*rowwidth+rowgap;
menus[5].row[4] = 5*rowwidth+rowgap;
menus[5].row[5] = 6*rowwidth+rowgap;
menus[5].row[6] = 7*rowwidth+rowgap;
menus[5].row[7] = 8*rowwidth+rowgap;
menus[5].row[8] = 9*rowwidth+rowgap;
menus[5].row[9] = 10*rowwidth+rowgap;
menus[5].col = (51-1)*colwidth;
menus[5].item[0].choice = "เครื่องมือ";
menus[5].item[1].choice = "วงกลม";
menus[5].item[2].choice = "เส้นตรง";
menus[5].item[3].choice = "จุด";
menus[5].item[4].choice = "ส่วนของวงกลม";
menus[5].item[5].choice = "วงกลม CONSTANT R";
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
menus[5].item[6].choice = "ส่วนของวงกลมCONSTANT G";
menus[5].item[7].choice = "อ่านค่าความต้านทาน";
menus[5].item[8].choice = "อ่านค่าของ LAMDA SCALE";
menus[5].item[9].choice = "อ่านค่าของมุม(องศา)";
menus[5].last_choice = 9;
```

ส่วนต่อไปนี้เป็นการตั้งค่าตัวแปรต่างๆ ในการสร้างเมนูคำแนะนำ

```
/* assign menu no.7 menu Help */
menus[6].frame[0] = 460;
menus[6].frame[1] = 51;
menus[6].frame[2] = 635;
menus[6].frame[3] = 130;
menus[6].row[0] = rowwidth+hgap;
menus[6].row[1] = 2*rowwidth+rowgap;
menus[6].row[2] = 3*rowwidth+rowgap;
menus[6].row[3] = 4*rowwidth+rowgap;
menus[6].col = (54-1)*colwidth;;
menus[6].item[0].choice = "คำแนะนำ";
menus[6].item[1].choice = "เกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ";
menus[6].item[2].choice = "เกี่ยวกับ SMITH-CHART";
menus[6].item[3].choice = "การใช้งาน PROGRAM";
menus[6].last_choice = 3;
}
```

ฟังก์ชั่น Display_Main_Menu ฟังก์ชั่นที่ใช้ในการแสดงเมนู หรือเฟรมใหญ่ของเมนู ซึ่งจะประกอบด้วย

การตีกรอบเมนู

การระบายสีลงในกรอบเมนูสีพื้นจะเป็นสีเทา

การวาดกรอบทั้งหมด 4 กรอบด้วยกัน

แถบแสดงรายการเมนูที่จะเลือกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void Display_Main_Menu(void)
{       int count;
        clearviewport();
        Mouse_hide_cursor();
        setcolor(DARKGRAY);
        rectangle(0,0,639,479); /* MAIN FRAME */
        rectangle(224,51,636,476); /* CHART FRAME */
        line(0,51,639,51);
        setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
        floodfill(1,100,DARKGRAY); /* FILL FRAME AREA */
        setfillstyle(1,CYAN);
        bar(3,403,219,424); /* text fram lower */
        bar(3,358,100,380);
        bar(120,358,219,380);
        Mouse_show_cursor();
        Frame_down(3,403,219,424); /* text fram lower */
        Frame_down(3,358,100,380);
        Frame_down(120,358,219,380);
        Mouse_hide_cursor();
        setcolor(BLACK);
        bar(1,0,638,25);
        line(385,0,385,25);
        setfillstyle(1,WHITE);
        bar3d(0,25,639,50,0,0);
        Mouse_show_cursor();
        Outthaibar(5,435,"ชื่อแฟ้มข้อมูล :");
        Outthaibar(10,340," มุม(องศา)");
        Outthaibar(126,340,"LAMDA SCALE");
        Outthaibar(60,387," ค่าความต้านทาน");
        for(count=0;count<=NO_MAIN_MENU-1;count++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Outthaibar(menus[count].col,menus[count].row[0],
                menus[count].item[0].choice);
        Outthaibar(menus[count].col+80,menus[6].row[0],
                menus[6].item[0].choice);
    Mouse_hide_cursor();
    line(1,201,222,201); /* shadow line1 */
    line(1,333,222,333); /* shadow line2 */
```

ส่วนนี้เป็นการสร้างเงาของกรอบเมนู เงาของเมนูที่แสดงจะเป็นสีขาว

```
    setcolor(WHITE);
    line(1,202,222,202); /*  shadow line1 */
    line(1,334,222,334); /* shadow line2 */
    Mongkut();
    Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังก์ชั่น Inverse_choice ฟังก์ชั่นนี้เป็นการเปลี่ยนสีของเมนูย่อยของเมนู คือเป็นลักษณะของการเปลี่ยนสีหัวข้อย่อยในตอนที่ผู้ใช้เลือกหัวข้อเมนูลักษณะของไฮไลน์ (high light) ถ้าเลือกหัวข้อใดหัวข้อนั้นก็จะเปลี่ยนสีไปเป็นสีเหลือง

```
void Invese_choice(int menu_no,int choice_no)
{   Mouse_hide_cursor();
    setcolor(YELLOW);
    Outthaibar(menus[menu_no].col,menus[menu_no].row[choice_no,
            menus[menu_no].item[choice_no].choice);
    setcolor(WHITE);
    Mouse_show_cursor();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Normal_choice ฟังก์ชั่นนี้เป็นการเปลี่ยนสีของหัวข้อเมนูย่อย ให้กลับเป็นสีเดิม หลังจากการอินเวอร์สให้กลับเป็นสีดำ

```
void Normal_choice(int menu_no,int choice_no)
{
Mouse_hide_cursor();
setcolor(BLACK);
Outthaibar(menus[menu_no].col,menus[menu_no].row[choice_no],
                menus[menu_no].item[choice_no].choice);
setcolor(WHITE);
Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังก์ชั่น Inverse_head_menu เปลี่ยนสีของหัวข้อเมนูที่เป็นหัวข้อหลัก ให้เป็นสีเหลืองเช่นเดียวกับ การเปลี่ยนสีของหัวข้อเมนูย่อย

```
void Invese_head_menu(int menu_no)
{       int col,x1,x2;
Mouse_hide_cursor();
setcolor(YELLOW);
if(menu_no==6) {
                        col=menus[menu_no].col+80;
                        x1=524;
                        x2=635;
                } else {
                        col=menus[menu_no].col;
                        x1=menus[menu_no].frame[0];
                        x2=menus[menu_no+1].frame[0];
                        }
if(menu_no==5)          x2=530;
setfillstyle(1,LIGHTBLUE);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
bar(x1;26,x2,49);
Outthaibar(col,menus[menu_no].row[0],
menus[menu_no].item[0].choice);
setcolor(WHITE);
Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังก์ชั่น Normal_head_menu เป็นการเปลี่ยนสีของหัวข้อเมนูหลักให้กลับเป็นสีเดิมหลังจากการอินเวอร์สให้กลับเป็นสีดำ

```
void Normal_head_menu(int menu_no)
{       int col,x1,x2;
Mouse_hide_cursor();
setcolor(BLACK);
if(menu_no==6) {
                        col=menus[menu_no].col+80;
                        x1=524;
                        x2=635;
                } else {
                        col=menus[menu_no].col;
                        x1=menus[menu_no].frame[0];
                        x2=menus[menu_no+1].frame[0];
                        }
if(menu_no==5)          x2=530;
setfillstyle(1,WHITE);
bar(x1,26,x2,49);
Outthaibar(col,menus[menu_no].row[0],menus[menu_no].item[0].ch
oice);
setcolor(WHITE);
Mouse_show_cursor();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Normal_menu เป็นฟังก์ชั่นที่โหลดภาพพื้นหลังของเมนูมาเก็บไว้จะทำให้ภาพเมนูที่จอหายไป

```
void Normal_menu(int menu_no)
{
        Mouse_hide_cursor();
        Load_pic(menu_no);
        Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังก์ชั่น Inverse_menu เป็นฟังก์ชั่นที่ใช้ในการเก็บภาพเมนูหลังของเมนูนั้นไว้ก่อนแล้วจึงแสดงกรอบของเมนูนั้นออกมา

```
void Invese_menu(int menu_no)
{
        Mouse_hide_cursor();
        Save_pic(menu_no);
        Display_Menu(menu_no);
        Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังก์ชั่น Save_pic เป็นการเก็บภาพพื้นหลังของเมนูโดยที่จะหาขนาดของหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บภาพก่อนใช้คำสั่ง imagesize นอกจากนี้ยังมีการเช็คการจองหน่วยความจำไว้ด้วย ถ้าจองไม่ได้จะแสดงข้อความ NOT - ENOUGHT MEMORY ถ้าจองได้จะไปทำโปรแกรมต่อไป

```
void Save_pic(int menu_no)
{
        size=imagesize(menus[menu_no].frame[0],
        menus[menu_no].frame[1],
        menus[menu_no].frame[2],
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
menus[menu_no].frame[3]);
pic_no=farmalloc(size);
if(pic_no!=NULL) {
                    Mouse_hide_cursor();
                    getimage(menus[menu_no].frame[0],
                    menus[menu_no].frame[1],
                    menus[menu_no].frame[2],
                    menus[menu_no].frame[3],pic_no);
                    Mouse_show_cursor();
                } else {
                    printf("%c",'\07');
                    Outmsg("ไม่สามารถจองหน่วยความจำได้");
                    getch();
                    }
}
```

ฟังก์ชั่น Load_pic เป็นฟังก์ชั่นที่โหลดภาพแบ็คกราวน์เก็บไว้ที่ตำแหน่งเดิม แต่จะมีการตรวจสอบว่ามีการจองหน่วยความจำได้หรือไม่เสียก่อน

```
void Load_pic(int menu_no)
{
if(pic_no!=NULL) {
                    Mouse_hide_cursor();
                    putimage(menus[menu_no].frame[0],
                    menus[menu_no].frame[1],pic_no,0);
                    Mouse_show_cursor();
                    farfree(pic_no);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ฟังก์ชั่น Display_Menu ฟังก์ชั่นนี้จะใช้แสดงเมนูย่อยที่แสดงรายละเอียดของหัวข้อเมนูหลักเป็นการสร้างกรอบของเมนูย่อย พร้อมทั้งมีการตกแต่งด้วย

```
void Display_Menu(int menu_no)
{    int i;
     Mouse_hide_cursor();
     setcolor(WHITE);
     setfillstyle(1,LIGHTBLUE);  /* fill menu */
     bar(menus[menu_no].frame[0],menus[menu_no].frame[1],
          menus[menu_no].frame[2],menus[menu_no].frame[3]);
     rectangle(menus[menu_no].frame[0]+2,menus[menu_no].frame[1]+2,
          menus[menu_no].frame[2]-2,menus[menu_no].frame[3]-2);
```

ส่วนนี้จะเป็นการนำข้อความที่เป็นภาษาไทยออกไปแสดง

```
     setcolor(BLACK);
     for(i=1;i<=menus[menu_no].last_choice;i++)
     {    Outthaibar(menus[menu_no].col,menus[menu_no].row[i],
                    menus[menu_no].item[i].choice);
     }
     setcolor(WHITE);
     Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังก์ชั่น Select_Menu ฟังก์ชั่นนี้จะเป็นการเลือกเมนูต่างๆ โดยคีย์บอร์ดหรือเม้าส์ โดยที่คีย์บอร์ดที่รับเข้ามาจะต้องไม่เป็น ALT-X

```
void Select_Menu(int menu,int choice)
{         struct menu_status M;
          int new_choice_no=0,new_menu_no=0;
          int xpix,ypix;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
M.choice_no=choice;
M.menu_no=menu;
setcolor(WHITE);
Invese_head_menu(M.menu_no);
```

ส่วนนี้เป็นการเลือกใช้เมนูต่างๆ ด้วยเม้าส์

```
do
{
 Mouse_show_cursor();
 do
 {
  M.key=0;
  Outmsg("MAIN MENU");
  Mouse_wait();
  sts=Readkey();
  switch(sts)
  {   case 0 : M.key = bioskey(0);
               break;
       case 1 : xpix = Mouse_x();
                ypix = Mouse_y();
                if(ypix>25&&ypix<50)
                  M = Clik_head(M,xpix);
                else
                if(M.door==ON)
                {  switch(M.menu_no)
                   {
case 0 : if(xpix>menus[0].frame[0]&&xpix<menus[0].frame[2])
          M=Check_row(M,ypix);
          break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        case 1 : if(xpix>menus[1].frame[0]&&xpix<menus[1].frame[2])
                    M=Check_row(M,ypix);
                    break;
        case 2 : if(xpix>menus[2].frame[0]&&xpix<menus[2].frame[2])
                    M=Check_row(M,ypix);
                    break;
        case 3 : if(xpix>menus[3].frame[0]&&xpix<menus[3].frame[2])
                    M=Check_row(M,ypix);
                    break;
        case 4 : if(xpix>menus[4].frame[0]&&xpix<menus[4].frame[2])
                    M=Check_row(M,ypix);
                    break;
        case 5 : if(xpix>menus[5].frame[0]&&xpix<menus[5].frame[2])
                    M=Check_row(M,ypix);
                    break;
        case 6 : if(xpix>menus[6].frame[0]&&xpix<menus[6].frame[2])
                    M=Check_row(M,ypix);
                    break;
                  }
                  }
                  break;
    }
}while(M.key==0);
```

ส่วนนี้เป็นการเลือกใช้เมนูต่างๆ ด้วยการรับค่าจากคีย์บอร์ด

```
switch(M.key)
{   case LEFT_ARROW :
            if(M.menu_no == 0)new_menu_no = 6;
            else new_menu_no = M.menu_no-1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Normal_head_menu(M.menu_no);
            if(M.door==ON)
            { Normal_choice(M.menu_no,M.choice_no);
              Normal_menu(M.menu_no);
              M.choice_no=1;
              Invese_menu(new_menu_no);
              Invese_choice(new_menu_no,M.choice_no);
            }
            Invese_head_menu(new_menu_no);
            M.menu_no=new_menu_no;
    break;
    case RIGHT_ARROW :
            if(M.menu_no == 6)  new_menu_no = 0;
            else   new_menu_no = M.menu_no+1;
            Normal_head_menu(M.menu_no);
            if(M.door==ON)
            {
              Normal_choice(M.menu_no,M.choice_no);
              Normal_menu(M.menu_no);
              M.choice_no=1;
              Invese_menu(new_menu_no);
              Invese_choice(new_menu_no,M.choice_no);
            }
            Invese_head_menu(new_menu_no);
            M.menu_no=new_menu_no;
    break;
    case UP_ARROW :
            if(M.door==ON)
            {
              if(M.choice_no == 1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            new_choice_no = menus[M.menu_no].last_choice;
            else
            new_choice_no = M.choice_no-1;
            Normal_choice(M.menu_no,M.choice_no);
            Invese_choice(M.menu_no,new_choice_no);
            M.choice_no = new_choice_no;
          }
    break;
    case DOWN_ARROW :
          if(M.door==ON)
          {
            if(M.choice_no == menus[M.menu_no].last_choice)
            new_choice_no = 1;
            else
            new_choice_no = M.choice_no+1;
            Normal_choice(M.menu_no,M.choice_no);
            Invese_choice(M.menu_no,new_choice_no);
            M.choice_no = new_choice_no;
          }
    break;
```

เมื่อมีการกดปุ่มRETURNโปรแกรมจะเรียกใช้งานในฟังก์ชั่นCall_function()

```
    case RETURN :
          if(M.door==ON)
          {
            Normal_menu(M.menu_no);
            M.door=OFF;
            Call_function(M.menu_no,M.choice_no);
          }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                else {
                        M.door=ON;
                        Invese_menu(M.menu_no);
                        M.choice_no=1;
                        Invese_choice(M.menu_no,M.choice_no);
                      }
        break;
        case MOUSE :
                Normal_menu(M.menu_no);
                M.door=OFF;
                Call_function(M.menu_no,M.choice_no);
                M.choice_no=1;
        break;
        case ESCAPE :
                if(M.door==ON)
                {
                  M.door=OFF;
                  Normal_choice(M.menu_no,M.choice_no);
                  Normal_menu(M.menu_no);
                }
        break;
        } /*switch i*/
        } while(M.key!=ALT_X);
}/*end*/
```

ฟังก์ชั่น Call_function ฟังก์ชั่นนี้จะถูกใช้เมื่อมีการเลือกเมนูใช้งาน

```
void Call_function(int menu_no,int choice_no)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```
switch(menu_no)
{
        case 0 :  switch(choice_no)
                  {  case 1 : New();        break;
                     case 2 : Load();       break;
                     case 3 : Save();       break;
                     case 4 : Printer();    break;
                     case 5 : Osshell();    break;
                     case 6 : setvect (0x24, old24);
                              closegraph();
                              exit(0);      break;
                  }; break;
        case 1 :  switch(choice_no)
                  {  case 1: Zoomin();    break;
                     case 2: Zoomout();   break;
                     case 3:Move();       break;
                  }; break;
        case 2 :  switch(choice_no)
                  {  case 1: Color_chart(0);      break;
                     case 2: Color_chart(1);      break;
                     case 3: Color_chart(2);      break;
                     case 4: Color_chart(3);      break;
                  }; break;
        case 3 :  switch(choice_no)
                  {  case 1: Change_zo();         break;
                     case 2: Change_zl(1);        break;
                     case 3: Change_yl(1);        break;
                     case 4: Change_zl(0);        break;
                     case 5: Change_yl(0);        break;
                     case 6:Change_frequency();   break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                case 7:Change_wavelenght(); break;
              }; break;
      case 4 : switch(choice_no)
              { case 1: Draw_zl();          break;
                case 2: Draw_vswr();        break;
                case 3: Draw_admittance();  break;
                case 4: Comment();          break;
                case 5: Delete();           break;
              }; break;
      case 5 : switch(choice_no)
              { case 1: Tools(CIRCLE);      break;
                case 2: Tools(LINE);        break;
                case 3: Tools(POINT);       break;
                case 4: Arrc();             break;
                case 5: Scale(2);           break;
                case 6: Scale(3);           break;
                case 7: Scale(1);           break;
                case 8: Read_scalc();       break;
                case 9: Read_degree();      break;
              }; break;
      case 6 : switch(choice_no)
              { case 1: Help_Edit();        break;
                case 2:About_Program();     break;
                case 3:                     break;
              }; break;
  }/* end switch */
}
```

ฟังก์ชั่น struct menu_status Clik_head ส่วนนี้ใช้กำหนดสถานะของเมนูหลักในการรับค่าจากเม้าส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
struct menu_status Clik_head(struct menu_status M,int xpix)
{       int new_menu;
 if(xpix<=menus[1].frame[0])    new_menu=0;
 if(xpix>menus[1].frame[0]&&xpix<=menus[2].frame[0])
        new_menu=1;
 if(xpix>menus[2].frame[0]&&xpix<=menus[3].frame[0])
        new_menu=2;
 if(xpix>menus[3].frame[0]&&xpix<=menus[4].frame[0])
        new_menu=3;
 if(xpix>menus[4].frame[0]&&xpix<=menus[5].frame[0])
        new_menu=4;
 if(xpix>menus[5].frame[0]&&xpix<=524)
        new_menu=5;
 if(xpix>524&&xpix<=menus[6].frame[2])
        new_menu=6;
 Normal_head_menu(M.menu_no);
 Invese_head_menu(new_menu);
 if(M.door==ON)
 {
  Normal_menu(M.menu_no);
  if(new_menu==M.menu_no)          M.door=OFF;
  else {        Invese_menu(new_menu);
                M.choice_no=1;
                Invese_choice(new_menu,M.choice_no);
        }
}
else {  if(new_menu==M.menu_no)
        {       M.door=ON;
                Invese_menu(new_menu);
                M.choice_no=1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```
                Invese_choice(new_menu,M.choice_no);
            }
        }
    M.menu_no=new_menu;  M.key=0;  return M;
}
```

ฟังก์ชั่น struct menu_status Check_row **ส่วนนี้ใช้กำหนดสถานะของเมนูย่อยบรรทัดต่างๆ ในการรับค่าจากเมาส์**

```
struct menu_status Check_row(struct menu_status M,int ypix)
{
  if(ypix>60&&ypix<74)          {M.choice_no=1;M.key=MOUSE;}
  if(ypix>80&&ypix<94)          {M.choice_no=2;M.key=MOUSE;}
  if(ypix>105&&ypix<120)        { M.choice_no=3;M.key=MOUSE;}
  if(ypix>130&&ypix<140)        { M.choice_no=4;M.key=MOUSE;}
  if(ypix>150&&ypix<162)        { M.choice_no=5;M.key=MOUSE;}
  if(ypix>168&&ypix<185)        { M.choice_no=6;M.key=MOUSE;}
  if(ypix>187&&ypix<205)        { M.choice_no=7;M.key=MOUSE;}
  if(ypix>208&&ypix<230)        { M.choice_no=8;M.key=MOUSE;}
  if(ypix>235&&ypix<253)        { M.choice_no=9;M.key=MOUSE;}
 return M;
}
```

ฟังก์ชั่น Readkey **สำหรับอ่านสถานะการกดของเมาส์และคีย์บอร์ด**

```
int Readkey(void)
{       int sts;
        char far *info;
        info=NULL;
 do {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        sprintf(info,"%d , %d",Mouse_x(),Mouse_y());
        bar(235,450,330,465);
        outtextxy(240,455,info);
        sts=Mouse_status();
        } while((kbhit()==0)&&(sts==0));
return sts;
}
```

DO CHOICE FUNCTION

ฟังก์ชั่น Tirtle ฟังก์ชั่นนี้ใช้แสดง Tirtle ก่อนเริ่มใช้โปรแกรม

```
void Tirtle(void)
{
setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
bar(0,0,639,479);
setfillstyle(1,LIGHTBLUE);
bar(100,100,539,379);
Frame_up(100,100,539,379);
setcolor(RED);
Outthaibar(160,150,"สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง");
Outthaibar(230,180,"คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม");
Outthaibar(230,210,"ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม");
Outthaibar(230,240,"โปรแกรม SMITH_CHART V1.0");
kmitl();
getch();
}
```

ฟังก์ชั่น Osshell ฟังก์ชั่นนี้เป็นส่วนของเมนูย่อยในเมนูแฟ้มคือ เมนูออกไป DOS ชั่วคราว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void Osshell
{
if(Save_img(4,29,221,424)) {
        closegraph();
        printf("\n************************************");
        printf("\n* type exit to return to program *");
        printf("\n************************************");
        system("command.com");
        Initial_gph();
        Display_Main_Menu();
        Frame_down(100,430,219,448);
        Outthaibar(105,435,file_name);
        Clear_chart_frame();
        Redraw();
        Invese_head_menu(0);
        Mouse_img(HAND);
        }
Load_img(4,29);
}
```

ฟังก์ชั่น Zoomin ฟังก์ชั่นนี้เป็นส่วนของเมนูย่อยในเมนูมุมมองคือเมนูย่อภาพ

```
void Zoomin(void)
{       rad=100;
Clear_chart_frame();
Redraw();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Zoomout ฟังก์ชั่นนี้เป็นส่วนของเมนูย่อยในเมนูมุมมองคือ เมนูขยายภาพ

```
void Zoomout(void)
{       rad=180;
        Clear_chart_frame();
        Redraw();
}
```

ฟังก์ชั่น Move ฟังก์ชั่นนี้เป็นส่วนของเมนูย่อยในเมนูมุมมองคือ เมนูเคลื่อนย้ายภาพ

```
void Move(void)
{  int sts,key;
   do {  Mouse_img(PLUS);
         Mouse_wait();
         sts=Readkey();
         switch(sts) {  case 0: key=bioskey(0);    break;
                        case 1: dx=Mouse_x();
                                dy=Mouse_y();
                                dx-=226;dy-=51;
                                Clear_chart_frame();
                                Redraw();
                                key=ESCAPE;
                                break;
                        case 2: key=ESCAPE;       break;
                      }
        } while(key!=ESCAPE);
   Mouse_img(HAND);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Color_pattern ฟังก์ชั่นสร้างรูปแบบของสีเพื่อใช้ในการเลือกใช้สีในเมนูกำหนดสี

```
void Color_pattern(void)
{       int i,x=0,y=0;
        setcolor(DARKGRAY);
        setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
        bar3d(250,140,610,340,0,0);
        setcolor(WHITE);
        line(250,140,610,140);
        line(250,140,250,340);
        setcolor(BLACK);
        rectangle(260,150,600,330);
        rectangle(270,160,591,191);
        for(i=0;i<=15;i++)
        {       setfillstyle(1,i);
                x=270+i*20;y=161;
                bar(x,y,x+20,y+29);
        }
        Outthaibar(340,297,"ตกลง");
        Outthaibar(485,297,"ยกเลิก");
        Frame_up(320,290,400,315);
        Frame_up(470,290,550,315);
}
```

ฟังก์ชั่น Mongkut ฟังก์ชั่นนี้จะใช้แสดงสัญญลักษณ์ของมงกุฎบนจอภาพ

```
void Mongkut(void)
{
  int i;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unsigned mongkut[24]={0x0888,0x06b0,0x0140,0x1ebc,0x0660,0x0570,
                      0x09c8,0x12a4,0x2492,0x45d1,0x0948,0x1374,0x22a2,
                      0x27f2,0x46b1,0x0c58,0x0c58,0x1ddc,0x1b0c,0x1a7c,
                      0x1a7c,0x5a8f,0x7277,0x2112};
 setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
 Frame_up(0,0,25,25);
 setcolor(RED);
 for(i=0;i<=24;i++)
 {
       setlinestyle(USERBIT_LINE,mongkut[i],1);
       line(20,1+i,5,1+i);
 }
 setlinestyle(0,0,1);
 Outthaibar(40,8,"สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
             ลาดกระบัง");
 Outthaibar(415,8,"โปรแกรม SMITH_CHART V1.0");
}
```

ฟังก์ชั่น Help_Edit ฟังก์ชั่นนี้จะแสดงส่วนของเมนูย่อยในเมนูคำแนะนำ คือ เมนูเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ

```
void Help_Edit()
{
 int maxx,maxy;
 maxx=getmaxx();
 maxy=getmaxy();
 setcolor(RED);
 setfillstyle(1,GREEN);
 bar3d(226,51,maxx-5,maxy-33,0,0);
 setcolor(RED);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
line(maxx-6,51,maxx-6,maxy-33);
line(226,445,633,445);
setcolor(BLUE);
Outthaibar(235,60,"Zo:คาแรคเตอร์ริสติกอิมพีแดนซ์
        ของสายนำสัญญาณ");
Outthaibar(235,85,"ZL:โหลด อิมพีแดนซ์");
Outthaibar(235,110,"YL:โหลด แอดมิตแตนซ์");
Outthaibar(235,160,"YL/Yo:ค่าที่ได้จากการนอร์มอลไลซ์ค่าโหลด
        แอดมิตแตนซ์");
Outthaibar(235,185,"Frequency:ค่าความถี่(GHz)");
Outthaibar(235,210,"Wave Lenght:ค่าความยาวคลื่น(cm.)");
Outthaibar(235,235,"VSWR:Voltage Standing wave Ratio");
Outthaibar(235,260,"อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน");
Outthaibar(235,285,"SWR:อัตราส่วนคลื่นนิ่ง คือ VSWR ที่แสดง
        ในหน่วย dB");
Outthaibar(235,310,"Powermismat:กำลังงานสูญเสียจาก
        การมิสแมทช์dB");
Outthaibar(235,335,"Power return:กำลังงานย้อนกลับ(dB)");
Outthaibar(235,360,"Gamma:สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน");
Outthaibar(235,385,"Gamma2:สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ
        ของกำลังงาน");
getch();
Clear_chart_frame();
Redraw();
Invese_head_menu(6);
Mouse_img(HAND);
setcolor(WHITE);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น About_Program ฟังก์ชั่นนี้จะแสดงส่วนของเมนูย่อยในเมนูคำแนะ-นำคือ เมนูเกี่ยวกับ SMITH-CHART

```
void About_Program()
{
  Save_img(150,190,580,378);
  setcolor(RED);
  rectangle(150,190,580,378);
  line(150,377,580,377);
  line(579,190,579,378);
  setfillstyle(1,GREEN);
  floodfill(151,200,RED);
  setcolor(BLUE);
  Outthaibar(310,200," SMITH-CHART ");
  setcolor(YELLOW);
  Outthaibar(165,225,"สมิทชาร์ตเป็นชื่อเรียกแผนภูมิที่เสนอขึ้น
            โดยวิศวกรชาวอเมริกันที่ชื่อ");
  Outthaibar(165,250,"P.H.Smith ในปี พ.ศ.2482 แผนภูมิ
            นี้จะให้ความสะดวกในการ ");
  Outthaibar(165,275,"พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์
            ไปตามตำแหน่งของสาย ");
  Outthaibar(165,300,"นำสัญญาณ และสามารถใช้ประโยชน์
            ในการวัดค่าอิมพีแดนซ์ และใน");
  Outthaibar(165,325,"การแมตซ์อิมพีแดนซ์ได้เป็นอย่างดี");
  setcolor(WHITE);
  getch();
  setcolor(RED);
  rectangle(150,190,580,378);
  line(150,377,580,377);
  line(579,190,579,378);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
setfillstyle(1,WHITE);
floodfill(151,200,RED);
setcolor(RED);
Outthaibar(300,200,"โปรแกรม SMITH-CHART ");
setcolor(BLUE);
Outthaibar(160,220,"จัดทำโดย");
setcolor(CYAN);
Outthaibar(235,220,"นายชัยเลิศ สุทธิสัตยาภรณ์  รหัส 36031305");
Outthaibar(235,240,"นายทวีศักดิ์        ชูรัตน์   รหัส 36031307");
Outthaibar(235,260,"นายเพชรรัตน์ ทัดสนธิ      รหัส 36031321");
Outthaibar(235,280,"นายอนุพงษ์        แผ่วรุณ รหัส 36031336");
setcolor(MAGENTA);
Outthaibar(255,300,"สาขา อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์");
Outthaibar(275,320,"ภาควิชา ครุศาสตร์วิศวกรรม");
Outthaibar(295,340,"คณะ ครุศาสตร์อุตสาหกรรม");
setcolor(BLINK);
Outthaibar(210,360,"สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
          เจ้าคุณทหารลาดกระบัง");
setcolor(WHITE);
getch();
Invese_head_menu(6);
Mouse_img(HAND);
Load_img(150,190);
}
```

จบการทำงานโปรแกรม MENUG.C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม MOUSE.C

โปรแกรม MOUSE.C โปรแกรมนี้จะทำหน้าที่ในส่วนของการควบคุมเม้าส์ เช่น การรีเซ็ทเม้าส์ การซ่อนและแสดงเม้าส์ การเปลี่ยนรูปเม้าส์พ้อยเตอร์ หาตำแหน่งของเม้าส์

```
#inlclude"scancode1.h"
```

ประกาศชื่อฟังก์ชั่นย่อย

```
void Mouse_initialize(void);
void Mouse_show_cursor(void);
void Mouse_hide_cursor(void);
void Mouse_img(int mode);
int  Mouse_status(void);
int  Mouse_x(void);
int  Mouse_y(void);
```

ฟังก์ชั่น Mouse_initialize ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าหน้าที่ในการตรวจสอบการติดตั้งเม้าส์ไดรฟ์เวอร์และทำการรีเซ็ทเม้าส์ตลอดจนกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ของเม้าส์ด้วย โดยอาศัยการ INTERRUPT หมายเลข 0x33. ตามฟังก์ชั่นต่างๆ

```
void Mouse_initialize(void)
{       AX=0x00;
        geninterrupt(0x33);
        if(_AX == 0) {
                printf("Mouse could not be initialized.");
                exit(1);
        }
/* กำหนดช่วงการเคลื่อนที่ในแนวแกน x */
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        AX=0x07;
        CX=0x03;
        DX=635;
        geninterrupt(0x33);
/* กำหนดช่วงการเคลื่อนที่ในแนวแกน y */
        AX=0x08;
        CX=0x03;
        DX=476;
        geninterrupt(0x33);
}
```

ฟังก์ชั่น Mouse_show_cursor ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการบังคับการแสดงรูปของเม้าส์พอยน์เตอร์ โดยอาศัย INTERRUPT หมายเลข 0x33 ฟังชั่น 0x01

```
void Mouse_show_cursor(void)
{       AX=0x01;
        geninterrupt(0x33);
}
```

ฟังก์ชั่น Mouse_hide_cursor ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการบังคับการแสดงซ่อนรูปของเม้าส์พอยน์เตอร์ โดยอาศัย INTERRUPT หมายเลข 0x33 ฟังชั่น 0x02

```
void Mouse_hide_cursor(void)
{       AX=0x02;
        geninterrupt(0x33);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Mouse_status ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการรายงานสถานะของปุ่ม-ของเม้าส์ ว่ามีปุ่มใดถูกกดอยู่บ้าง และจะส่งค่าของหมายเลขปุ่มกลับในกรณีที่มีการกดปุ่ม

```
int Mouse_status(void)
{       AX=0x03;
        geninterrupt(0x33);
        return _BX;
}
```

ฟังก์ชั่น Mouse_x ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการรายงาน ตำแหน่งทางแกน x ของเม้าส์ว่าขณะนั้นอยู่ที่ตำแหน่งที่เท่าไร

```
int Mouse_x(void)
{       AX=0x03;
        geninterrupt(0x33);
        return _CX;
}
```

ฟังก์ชั่น Mouse_y ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการรายงานตำแหน่งทางแกน y ของเม้าส์ว่าขณะนั้นอยู่ที่ตำแหน่งที่เท่าไร

```
int Mouse_y(void)
{       AX=0x03;
        geninterrupt(0x33);
        return _DX;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Mouse_wait ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่สำหรับการปล่อยเม้าส์ในขณะที่กดอยู่ในขณะนั้น

```
void Mouse_wait(void)
{       int sts=0;
 do {
        Mouse_show_cursor();
        sts=Mouse_status();
   } while(sts!=0);
}
```

ฟังก์ชั่น Mouse_img ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนรูปเม้าส์จากรูปลูกศรชี้เป็นรูปมือชี้

```
void Mouse_img(int mode)
{
 void far *mousepic;
 {      int x_spot,y_spot;
 char plus[]= 0x7f,0xff,0x7f,0xff,0x7f,0xff,0x7f,0xff,/*and Mask/*
        0x7f,0xff,0x7f,0xff,0x7f,0xff,0x7f,0xff,0x00,0x00,0x7f,0xff,0x7f,0xff,0x7f,
        0xff,0x7f,0xff,0x7f,0xff,0x7f,0xff,0x7f,0xff,
        0x80,0x00,0x80,0x00,0x80,0x00,0x80,0x00,/*xor mask*/
        0x80,0x00,0x80,0x00,0x80,0x00,0x80,0x00,0xff,0xff,0x80,0x00,0x80,0x00,
        0x80,0x00,0x80,0x00,0x80,0x00,0x80,0x00,0x80,0x00;
 char hand[]= 0xff,0xf3,0xff,0xe1,0xff,0xe1,0xff,0xe1,/*and mask*/
        0xff,0xe1,0x49,0xe0,0x00,0x80,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00
        0x00,0x00,0x00,0x80,0x00,0xc0,0x01,0xe0,0x03,0xe0,
        0x00,0x00,0x00,0x0c,0x00,0x0c,0x00,0x0c,/*xor mask*/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```
        0x00,0x0c,0xb6,0x0d,0xb6,0x6d,0xb6,0x6d,0xfe,0x7f,0xfe,0x6f,0xfe,0x6f,
        0xfe,0x7f,0xfe,0x3f,0xfe,0x1f,0xfc,0x0f,0x00,0x00;
  if(mode==HAND)
  {     mousepic=hand;
        x_spot=y_spot=1;
  }
  else
  {  mousepic=plus;
    x_spot=y_spot=8;
  }
  ES=FP_SEG(mousepic);
  DX=FP_OFF(mousepic);
  CX=x_spot;
  BX=y_spot;
  AX=0x0009;
  geninterrupt(0x33);
}
```

จบโปรแกรม Mouse_inf.C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include"scancode1.h"

void Save_cursor(void);
void Tools(int pic);
void Draw_pic(float fx,float fy,float lx,float ly,int pic);
void Scale(int mode);
void Read_scalc(void);
void Read_degree(void);
void Arrc(void);
void Frame_up(int x1,int y1,int x2,int y2);
void Frame_down(int x1,int y1,int x2,int y2);
```

การเรียกโปรแกรมย่อยจาก ccc.c มาใช้ในโปรแกรม

```
extern  void Outmsg(char item[100]);
extern  void Outthaibar(int column,int row,char *content);
extern  float Lamda_scale(float x,float y,int mode);
extern  void Convert_zl2coor(float real,float complex);
extern  void List_pic(int number,int colors);
extern  void Mem_pic(int cmd,float xx1,float yy1,float xx2,float yy2,float
sang,float deng,float radl;
```

การเรียกค่าตัวแปรจากโปรแกรมอื่นมาใช้

```
extern struct command order[100];
extern struct comx comp;
extern int   dx,dy,rad;
extern int seg;
extern int short thai;
extern int short NORMAL_CL;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
extern int short INVESE_CL;
extern unsigned char inputstr[255];
```

โปรแกรมย่อย การหาค่าที่จะส่งไปทำการคำนวณเพื่อนำมาพล็อตเป็นกราฟในสมิธชาร์ต โดยการใช้เม้าส์ (mouse) หาโดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นแรก จะแสดงสัญญลักษณ์ของเม้าส์ โดยจะมีการตรวจสอบสถานะของเม้าส์และหาตำแหน่งทางแกน x และแกน y ตำแหน่งแรกจากนั้นเม้าส์จะทำการค้นหาในตำแหน่ง x,y ต่อไป โดยจะมีการแสดงเส้นตรงไปด้วยค่าที่ได้ทั้งหมดจะถูกส่งไปยังโปรแกรมย่อยให้วาดกราฟ ซึ่งจะมีการเลือกอยู่ 3 ลักษณะคือ

การวาดเส้นตรง

การวาดวงกลม

การกำหนดจุด

โดยเส้นตรง จะมีเพียงกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดปลายโดยที่การกดเม้าส์ครั้งแรกจะเป็นการกำหนดจุดเริ่มต้นและลากเม้าส์ไปที่ต้องการกดอีกครั้งจะเป็นตำแหน่งจุดปลายวงกลม กดเม้าส์ครั้งแรกจะกำหนดค่าจุดศูนย์กลาง และใช้เม้าส์ลากมาเพื่อหารัศมี กดอีกครั้งก็จะได้วงกลมที่มีรัศมีที่เราต้องการค่าทั้งหมดที่กล่าวมานี้จะนำมาใช้ในโปรแกรมย่อยวาดกราฟ ซึ่งจะรับค่ามาเพื่อนำไปวาดกราฟที่ต้องการ โดยที่ผู้ใช้สามารถเลือกเองได้ตามความต้องการ การกำหนดจุดนั้น จะใช้เม้าส์เพื่อค้นหาตำแหน่งจุดที่ต้องการที่จะแสดงออกมาโดยการกดเม้าส์ 1 ครั้งก็จะได้จุดออกมา 1 จุด

```
void Tools(int pic)
{       int  sts=0,key;
        int  fx=0,fy=0,lx=0,ly=0;

Mouse_img(PLUS);
Mouse_show_cursor();
Mouse_wait();
setwritemode(1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
do{     key=0;
        sts=Readkey();
        switch(sts){
                        case 0: bioskey(0); break;
                        case 1: key=ESCAPE; break;
                        case 2: fx=Mouse_x();
                        fy=Mouse_y();
                        Point(fx,fy);
                                key=RETURN;
                                Mouse_wait();
                                break;
                }
        } while(key==0);
Mouse_wait();
if(key==ESCAPE)
Point(fx,fy);
else{
        if(pic<=2) sts=0;
        while(sts!=1&&sts!=2&&pic<=2)
                lx=Mouse_x();
                ly=Mouse_y();
        Mouse_hide_cursor();
                line(fx,fy,lx,ly);
                delay(100);
                line(fx,fy,lx,ly);
        Mouse_show_cursor();
                delay(100);     sts=Mouse_status();
Point(fx,fy); }  /* end else *      /
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        setwritemode(0);
        if(key==RETURN) {
        fx-=226;fy-=51;lx-=226;ly-=51;
        Draw_pic(fx,fy,lx,ly,pic); }
}
Mouse_img(HAND);
}
```

ฟังก์ชั่น Draw_pic ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการวาดรูปต่างๆต้องการคือ เส้นตรง วงกลม กำหนดจุด และการกำหนดข้อความลงในที่ที่ต้องการ

```
void Draw_pic(float fx,float fy,float lx,float ly,int pic)
{       float R=0;

if(pic==CIRCLE) {
                R=sqrt(pow((fx-lx),2)+pow((fy-ly),2));
                R/=rad;
                fx=(fx-dx)/rad;
                fy=-(fy-dy)/rad;
                lx=(lx-dx)/rad;
                ly=-(ly-dy)/rad;
            }
        Mouse_hide_cursor();
switch(pic){
            case CIRCLE:Mem_pic(CIRCLE,fx,fy,0,0,0,0,R);
                        List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
                        break;
            case LINE  : Mem_pic(LINE,fx,fy,lx,ly,0,0,0);
                        List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
                        break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                case POINT : Mem_pic(POINT,fx,fy,0,0,0,0,0);
                             List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
                             break;
                case TEXT  : Mem_pic(TEXT,fx,fy,0,0,0,0,0);
                             List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
                             break;
                }
        Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังก์ชั่น Arrc ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการวาดส่วนโค้งตามความต้องการตามคำสั่ง

```
void Arrc(void)
{       int  sts=0;
        float  fx=0,fy=0,lx=0,ly=0,R=0,cx,cy,fxx,fyy;
        float ang1=0,ang2=0;
Mouse_img(PLUS);
Mouse_show_cursor();
Mouse_wait();
setwritemode(1);
Outmsg("FIRST POINT");
 do{
        sts=Mouse_status();
} while(sts!=1&&sts!=2);
if(sts==1) {
        cx=Mouse_x();
        cy=Mouse_y();
        Point(cx,cy); }
Outmsg("SECOUND POINT");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
sts=0;
Mouse_wait();
while(sts!=1&&sts!=2) {
                        delay(100);
                        fx=Mouse_x();
                        fy=Mouse_y(); }
Mouse_hide_cursor();
line(cx,cy,fx,fy);
delay(100);
line(cx,cy,fx,fy);
Mouse_show_cursor();
sts=Mouse_status(); }
        if(sts==2)
                Point(cx,cy);
        if(sts==1)
                Point(fx,fy);
Outmsg("THIRD POINT");
sts=0;
Mouse_wait();
while(sts!=1&&sts!=2) {
                        delay(100);
                        lx=Mouse_x();
                        ly=Mouse_y(); }
Mouse_hide_cursor();
line(cx,cy,lx,ly);
delay(100);
line(cx,cy,lx,ly);
Mouse_show_cursor();
sts=Mouse_status();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(sts==2) {      Point(fx,fy);
                  Point(cx,cy); }
        setwritemode(0); }
        if(sts==1) {      setwritemode(1);
                          Point(cx,cy);     Point(fx,fy); }
        setwritemode(0);
fx-=226;fy-=51;
cx-=226;cy-=51;
lx-=226;ly-=51;
fxx=(fx-cx)/rad;fyy=-(fy-cy)/rad;
lx=(lx-cx)/rad;ly=-(ly-cy)/rad;
cx=(cx-dx)/rad;cy=-(cy-dy)/rad;
fx=(fx-dx)/rad;fy=-(fy-dy)/rad;
R=sqrt(pow((fx-cx),2)+pow((fy-cy),2));
ang1=Angle_line(fxx,fyy);
ang2=Angle_line(lx,ly);
Mem_pic(ARC,cx,cy,0,0,ang1,ang2,R);
List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
Mouse_img(HAND); }
```

ฟังก์ชั่น Read_scale ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการอ่านค่าสเกลที่ได้ทำการวาดรูปแล้ว หรือต้องการจะวาดรูป

```
void Read_scalc(void)
{       float lx,ly,lamda,dxx,dyy,slope;
        int sts,zone,key,mx,my,mode=TO_GEN;
        char buff[15];
Save_img(430,51,580,100);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```
setfillstyle(1,LIGHTBLUE);
setcolor(WHITE);
Mouse_hide_cursor();
        bar(430,51,580,100);
        rectangle(432,53,578,98);
Mouse_show_cursor();
setcolor(YELLOW);
        Outthaibar(450,60,"ไปยังแหล่งจ่ายกำลัง");
setcolor(BLACK);
        Outthaibar(450,82,"ไปยังโหลด");
do {
        do {
                key=0;
                Mouse_wait();
                sts=Readkey();
                  if(sts==0)
                          key=bioskey(0);
                  else    mx=Mouse_x();
                          my=Mouse_y();
                  if(mx>450&&mx<580)
                  if(my>55&&my<75){
                          mode=TO_GEN;key=RETURN; }
                 if(my>76&&my<98){
                          mode=TO_LOAD;key=RETURN;}
                                  }
        }while(key==0);
switch(key) {
        case UP_ARROW : setcolor(YELLOW);
                        Outthaibar(450,60,"ไปยังแหล่งจ่ายกำลัง");
                        setcolor(BLACK);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                Outthaibar(450,82,"ไปยังโหลด");
                                mode=TO_GEN;
                                break;
        case DOWN_ARROW : setcolor(YELLOW);
                                Outthaibar(450,82,"ไปยังโหลด");
                                setcolor(BLACK);
                                Outthaibar(450,60,"ไปยังแหล่งจ่ายกำลัง");
                                mode=TO_LOAD;
                                break;
                                }/*switch i*/
} while(key!=ESCAPE&&key!=RETURN);
Load_img(430,51);
if(key==RETURN)
        dxx=dx+226;dyy=dy+51;
        setwritemode(1);
Mouse_wait();
Mouse_img(PLUS);
Outmsg("LAMDA SCALE");
do {
        lx=Mouse_x();
        ly=Mouse_y();
        sts=Mouse_status();
        delay(70);
        Mouse_hide_cursor();
        line(dxx,dyy,lx,ly);
        delay(100);
        line(dxx,dyy,lx,ly);
        Mouse_show_cursor();
        lamda=Lamda_scale((lx-dxx)/rad,-(ly-dyy)/rad,mode);
        setfillstyle(1,CYAN);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            setcolor(WHITE);
            bar(125,359,218,379);
            sprintf(buff,"%-5.3f",lamda);
            Outthaibar(130,365,buff);
            setcolor(WHITE);
      } while(sts!=1&&sts!=2);
   setwritemode(0);
   Mouse_img(HAND);
            if(sts==1)
                  if(lx==dxx)
                        slope=INFINITY;
                  else
                        slope=(dyy-ly)/(lx-dxx);
                  zone=Quardrent_coor((lx-dxx)/rad,(dyy-ly)/rad);
                  X_line_cir(slope,1.1,zone);
                  Mem_pic(POINT,comp.re,comp.im,0,0,0,0,0);
                  List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
                  }
   }
```

ฟังก์ชั่น Scale ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการกำหนดค่าเสกลของรูปภาพ

```
   void Scale(int mode)
   {     int sts;
         float x,y,ang;
         float impr=0,impc=0;
         char far *content;
   content=NULL;
   if(mode==1)
         List_pic(0,NORMAL_CL);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Mouse_img(PLUS);
Mouse_wait();
Outmsg("อิมพีแดนซ์");
do {
        x=Mouse_x();
        y=Mouse_y();
        x-=226;y-=51;
        x=(x-dx)/rad;
        y=-(y-dy)/rad;
        Convert_coor2zl(x,y);
        if(impr!=comp.re&&impc!=comp.im) {
                                        impr=comp.re;
                                        impc=comp.im;
                                        setfillstyle(1,CYAN);
                                        setcolor(BLACK);
        if(impc>=0)     sprintf(content,"%-5.2f+j%5.2f",impr,impc);
        else    sprintf(content,"%-5.2f-j%5.2f",impr,impc*(-1));
                                        delay(100);
                                        bar(5,404,218,423);
                                        Outthaibar(60,408,content);
  }
        sts=Mouse_status();
   } while(sts!=1&&sts!=2);
if(sts==1) {
switch(mode) {
        case 1: order[0].x1=x;
                order[0].y1=y;
                List_pic(0,NORMAL_CL); break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            case2 : Mem_pic(CIRCLE,comp.re/(comp.re+1),0,0,0,0,0,
                        1/(comp.re+1 ));
                    List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
                    break;
            case 3: ang=2*atan(comp.im);
                    if(comp.im<0) {
            Mem_pic(ARC,1,1/comp.im,0,0,(PI/2),(PI/2)-ang,-1/comp.im);
                    List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
                    } else {
            Mem_pic(ARC,1,1/comp.im,0,0,(3*PI/2)-ang,(3*PI/2),1/comp.im);
                    List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
                    }
                    break;
                    }
            }
    Mouse_img(HAND);
    setcolor(WHITE);
    }
```

ฟังก์ชั่น Comment ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการใส่ข้อความในที่ที่ต้องการ

```
    void Comment(void)
    {       int load=0;
            struct regein ok,cancle;
    thai=ON;
    ok.fx=cancle.fx=525;
    ok.lx=cancle.lx=585;
    ok.fy=220;ok.ly=240;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
cancle.fy=260;cancle.ly=280;
Mouse_hide_cursor();
Save_img(260,170,600,300);
Text_box();
setfillstyle(1,BLACK);
setcolor(BLACK);
Outthaibar(400,183,"ใส่ข้อความ");
bar(295,232,500,268);
Frame_down(295,232,500,268);
Mouse_show_cursor();
if(Readstr(39,16,22,ok,cancle)) {
                if(strcmp(inputstr,"")) {
                        Load_img(260,170);
                        Tools(TEXT);
                        load=1;
                        }
                }
if(load==0)
        Load_img(260,170);
thai=OFF;
}
```

ฟังก์ชั่น Frame_up ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการสร้างกรอบของรูป

```
void Frame_up(int x1,int y1,int x2,int y2)
{
setlinestyle(0,0,1);
Mouse_hide_cursor();
setcolor(BLACK);
line(x2,y2,x2,y1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
line(x2,y2,x2,y1);
line(x2,y2,x1,y2);
setcolor(WHITE);
line(x1,y1,x1,y2);
line(x1,y1,x2,y1);
Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังก์ชั่น Frame_down ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการสร้างกรอบของรูป

```
void Frame_down(int x1,int y1,int x2,int y2)
{       setlinestyle(0,0,1);
        Mouse_hide_cursor();
        setcolor(BLACK);
        line(x1,y1,x1,y2);
        line(x1,y1,x2,y1);
        setcolor(WHITE);
        line(x2,y2,x2,y1);
        line(x2,y2,x1,y2);
        Mouse_show_cursor(); }
```

ฟังก์ชั่น Read_degree ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการอ่านค่าของมุมของรูปสมิช-ชาร์ต

```
void Read_degree(void)
{       float lx,ly,ang,dxx,dyy,slope;
        int sts,zone;
        char buff[15];
dxx=dx+226;dyy=dy+51;
setwritemode(1);
Mouse_wait();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Mouse_img(PLUS);
Outmsg("LAMDA SCALE");
 do {   lx=Mouse_x();
        ly=Mouse_y();
        sts=Mouse_status(); delay(70);
        Mouse_hide_cursor();
        line(dxx,dyy,lx,ly);
        delay(100);
        line(dxx,dyy,lx,ly);
        Mouse_show_cursor();
        ang=Angle_line((lx-dxx)/rad,-(ly-dyy)/rad);
        setfillstyle(1,CYAN);
        setcolor(WHITE);
        bar(5,359,98,379);
        sprintf(buff,"%-5.3f",ang*57.29578);
        Outthaibar(30,365,buff);
    } while(sts!=1&&sts!=2);
setwritemode(0); Mouse_img(HAND);
        if(sts==1) {
                if(lx==dxx)      slope=INFINITY;
                else     slope=(dyy-ly)/(lx-dxx);
                zone=Quardrent_coor((lx-dxx)/rad,(dyy-ly)/rad);
                X_line_cir(slope,1.1,zone);
                Mem_pic(POINT,comp.re,comp.im,0,0,0,0,0);
                List_pic(seg-1,NORMAL_CL);  }
}
```

จบโปรแกรม CADD.C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include"scancode1.h"

#define OHM    1
#define MHO    2
#define LAMDA          3
```

การตั้งค่าตัวแปรหลักที่หลายโปรแกรมสามารถเรียกไปใช้ร่วมกันได้

```
extern int rad;
extern int dx,dy;
extern int short chcolor;
extern int short bkcolor;
extern unsigned char inputstr[255];

struct command order[100];
struct comx comp;
int seg=0;
float xx,yy,rr;
float dis_to_ter,frequency,vswr,wave_lenght;
float max_from_load,min_from_load;
float resis,react;
float chim,zlc,zlr;
float zinc,zinr;
float ylc,ylr,zc,D1,D2;
float swr,pmis,pret,gamma;
int short NORMAL_CL=RED;
int short INVESE_CL=YELLOW;
void far *img;
unsigned int imgsize;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประกาศชื่อโปรแกรมย่อยที่มีอยู่ในโปรแกรม CCC.C

```
int Save_img(int x1,int y1,int x2,int y2);
void Load_img(int x1,int y1);
void Redraw(void);
void Point(int x,int y);
void Clear_chart_frame(void);
void Delete(void);
void List_pic(int number,int colors);
void Mem_pic ( int comm,float x1,float y1,float x2,float y2,float st,
float en,float re);
void Vswr(void);
void Wave_lenght(void);
void Convert_coor2zl(float x,float y);
void Convert_zl2coor(float real,float complex);
float Slope_from_angle(float ang);
float Angle_from_lamda(float lamda,int mode);
float Angle_line(float x,float y);
float Lamda_scale(float x,float y,int mode);
int  Quardrent_coor(float x,float y);
int  Quradrent_lamda(float scal_c,int mode);
void X_line_cir(float slope,float r,int zone);
void Fine_yl(void);
void Swr(void);
void Power_mis(void);
void Power_return(void);
void Gamma(void);
void Draw_vswr(void);
void Draw_zl(void);
void Draw_admittance(void);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void Edit(void);
void Edit_paramiter(void);
struct menu_status Check_choice_editp(struct menu_status E,int ypix);
void Start_dialog(void);
void Outmsg(char item[100]);
void Write_content(void);
void Write_value(int row,float cpr,float cpc);
void Print_unit(int x,int y,int ptt);
void Normal_bar(int row);
void Inverse_bar(int row);
void Normal_row(int row,int start,int finish);
void Inverse_row(int row,int start,int finish);
void Inverse_edit(int row);
void Normal_edit(int row);
int  Change_color(int oldcolor,int mx);
void Color_chart(int mode);
void Change_zo(void);
void Change_zl(int mode);
void Change_yl(int mode);
void Change_frequency(void);
void Change_wavelenght(void);
```

โปรแกรมย่อยให้นับจำนวนภาพที่ได้ทำการวาดโดยที่สามารถนำมาวาดใหม่ได้ใหม่ถึงแม้ว่าภาพนั้นจะถูกลบไปแล้วก็ตาม ซึ่งเก็บไว้ในตัวแปร "seg"

```
void Redraw(void)
{       int i;
        for(i=0;i<seg;i++)
        List_pic(i,NORMAL_CL);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมย่อย ลบหน้าจอที่มีขณะนั้นและทำการกำหนดหน้าจอขึ้นมาใหม่ โดยในที่นี้คือ กำหนดกราฟสมิธชาร์ตขึ้นมาใหม่นั่นเอง

```
void Clear_chart_frame(void)
{
        Mouse_hide_cursor();
        setfillstyle(1,bkcolor);
        bar(226,51,635,475);
        Mouse_show_cursor();
        Draw_chart();
}
```

โปรแกรมย่อย กำหนดค่าตัวแปรโดยให้เก็บของรูปภาพต่างๆ ไว้เพื่อที่จะนำมาใช้ได้อีกโดยที่ไม่มีการสูญเสีย

```
void  Mem_pic ( int comm,float x1,float y1,float x2,float y2,
                float st,float en,float re)
{
        order[seg].comm=comm;
        order[seg].x1=x1;
        order[seg].x2=x2;
        order[seg].y1=y1;
        order[seg].y2=y2;
        order[seg].stang=st;
        order[seg].edang=en;
        order[seg].radial=re;
        if(comm==TEXT)
        strcpy(order[seg].content.inputstr);
        seg++;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมย่อย กำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการวาดกราฟต่างๆโดยที่ค่าเหล่านี้จะเป็นค่าที่นำไปวาดเป็นกราฟอยู่ 4 ลักษณะคือ

วาดเส้นตรง

วาดวงกลม

วาดเส้นโค้ง

การกำหนดจุด

```
void List_pic(int number,int colors)
{
        float xx1,yy1,xx2,yy2,ang1,ang2,radd;
        xx1=order[number].x1*rad+dx;
        xx2=order[number].x2*rad+dx;
        yy1=-order[number].y1*rad+dy;
        yy2=-order[number].y2*rad+dy;
        ang1=order[number].stang*57.296;
        ang2=order[number].edang*57.296;
        radd=order[number].radial*rad;
        Mouse_hide_cursor();
        setviewport(226,51,636,475,1);
        setcolor(colors);
        switch(order[number].comm)
        {
          case LINE: line(xx1,yy1,xx2,yy2);      break;
          case CIRCLE : circle(xx1,yy1,radd);    break;
          case ARC : arc(xx1,yy1,ang1,ang2,radd);
                                                 break;
          case TEXT : Outthaibar(xx1,yy1,order[number].content);
                                                 break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            case POINT : if(number==0)
                         color(INVESE_CL);
                         writemode(1);
                         nt(xx1,yy1);
                         if(number==0)
                         setwritemode(0);
                                                  break;
        }
        setcolor(WHITE);
        setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),0);
        Mouse_show_cursor();
        }
}
```

โปรแกรมย่อย ให้ทำการลบเส้นกราฟที่ไม่ต้องการ การทำงานจะเลื่อนลูกศรไปตามเส้นกราฟที่เขียนอยู่เดิมถ้าไม่ต้องการเส้นใดก็จะกดแป้นลูกศร RETURNเส้นกราฟนั้นก็จะหายไปหรือถ้าไม่ต้องการลบก็จะกดแป้นลูกศร ESCAPE การทำงานก็จะออกจากโปรแกรม วิธีการจะใช้ในการสั่งให้ไปเก็บไว้ในตัวแปร "seg" อีกครั้ง

```
void Delete(void)
{       int key,i=1,j;
        int sts,mx,my;
if(seg>1) {
                List_pic(i,INVESE_CL);
                Mouse_hide_cursor();
                Save_img(220,450,635,477);
        }
setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
bar(220,450,635,477);
Frame_up(225,453,315,476);
Frame_up(320,453,420,476);
Frame_up(425,453,525,476);
Frame_up(530,453,630,476);
Mouse_show_cursor();
setcolor(BLACK);
sprintf(inputstr,"%c =ขึ้น",24);
Outthaibar(245,462,inputstr);
sprintf(inputstr,"%c = ลง",25);
Outthaibar(345,462,inputstr);
Outthaibar(470,462,"ตก");
Outthaibar(555,462,"ยกเลิก");
setcolor(WHITE);
do {
        Mouse_wait();
        do {
                key=0;
                sts=Readkey();
        switch(sts) {
                        case 0: key=bioskey(0); break;
                        case 2: key=ESCAPE;    break;
                        case 1: mx=Mouse_x();
                                my=Mouse_y();
                        if(my>455&&my<635) {
                                if(mx>225&&mx<315)
                        Frame_down(225,453,315,476);
                        key=UP_ARROW;
                        Mouse_wait();
                        Frame_up(225,453,315,476);
                        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if(mx>320&&mx<420)
            {       Frame_down(320,453,420,476);
                    key=DOWN_ARROW;
                    Mouse_wait();
                    Frame_up(320,453,420,476);
            }
            if(mx>425&&mx<525)
            {       Frame_down(425,453,525,476);
                    Mouse_wait();
                    key=RETURN;
                    Frame_up(425,453,525,476);
            }
            if(mx>530&&mx<630)
            {       Frame_down(530,453,630,476);
                    Mouse_wait();
                    key=ESCAPE;
                    Frame_up(530,453,630,476);
            }
        }
    }
} while(key==0);
switch(key)
{       case UP_ARROW : List_pic(i,NORMAL_CL);
                        if(i==1) i=(seg-1);
                        else i--;
                        List_pic(i,INVESE_CL);
                        break;
        case DOWN_ARROW : List_pic(i,NORMAL_CL);
                        if(i==(seg-1)) i=1;
                        else i++;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                        List_pic(i,INVESE_CL);
                                        break;
                case ESCAPE : Load_img(220,450);
                                List_pic(i,NORMAL_CL);
                                        break;
                case RETURN :
                        for(j=1;j<=seg;j++)
                        {
                          order[i].comm=order[i+1].comm;
                          order[i].x1=order[i+1].x1;
                          order[i].x2=order[i+1].x2;
                          order[i].y1=order[i+1].y1;
                          order[i].y2=order[i+1].y2;
                          order[i].stang=order[i+1].stang;
                          order[i].edang=order[i+1].edang;
                          order[i].radial=order[i+1].radial;
                          strcpy(order[i].content,order[i+1].content);
                        }
                        seg-=1;
                        Load_img(220,450);
                        Clear_chart_frame();
                        Redraw();
                                        break;
          }/* end switch */
       } while(key!=RETURN && key!=ESCAPE);
    }
/* end if */
  } else Outmsg("NOT IMAGE");
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Point ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการแสดงตำแหน่งและซ่อนรูปเม้าส์ที่แสดงบนหน้าจอ โดยที่แสดงในตำแหน่งที่ต้องการ

```
void Point(int x,int y)
{
        Mouse_hide_cursor();
        line(x-3,y,x+3,y);
        line(x,y-3,x,y+3);
        Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังก์ชั่น Convert_coor2zl ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการแปลงค่าโคออดิเนตของไปเป็นค่า zl

```
void Convert_coor2zl(float x,float y)
{       float k;
        if(x!=1) {      k=( pow(x,2)+pow(y,2)-1 )/(2*(x-1));
                        comp.re=(1/sqrt(pow((k-1),2)))-1;
                } else comp.re=0;
        if(y!=0) {      k=(pow(x,2)+pow(y,2)-2*x+1)/(2*y);
                        comp.im=1/k;
                } else comp.im=0;
}
```

ฟังก์ชั่น Convert_zlcoor ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการแปลงค่า zl ไปเป็นค่าโคออร์ดิเนตของจอภาพ

```
void Convert_zl2coor(float real,float imgin)
{       float ang;
        if(imgin!=0)
        {               ang=2*atan((real+1)/imgin);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            comp.im=(sin(ang)/(real+1));
            comp.re=(real/(real+1)+ 1/(real+1)*cos(ang));
    } else {
            comp.im=dy;
            comp.re=INFINITY;
            }
    }
```

ฟังก์ชั่น Angle_lineฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการหามุมจากเส้นตรง

```
float Angle_line(float x,float y)
{       int zone;
        float slope,ang;
if(x!=0) {
        slope=y/x;
        ang=atan(slope);
        zone=Quardrent_coor(x,y);
        if(zone==2||zone==3) ang=PI+ang; /* q 2 and 3 */
        if(zone==4) ang=2*PI+ang; /* q4 ang subtrac */
/* accept q1 and y=0 is normal */
        } else {
                if(y>0) ang=PI/2;
                else ang=3*PI/2;
        }
return ang;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมย่อย คำนวณหาค่าความยาวคลื่น (แลมป์ด้า) มีลักษณะการหาอยู่ 2 ลักษณะ คือ

- หาความยาวคลื่น (แลมป์ด้า) เข้าหาเครื่องกำเนิด
- หาความยาวคลื่น (แลมป์ด้า) เข้าหาโหลด

```
float Lamda_scale(float x,float y,int mode)
{       float ang,scal_c;
        ang=Angle_line(x,y);
        if(x<=0&&y==0) ang=PI;
        switch(mode)
        {       case TO_GEN :if(ang>=PI)
                                    ang=3*PI-ang;  /* to source */
                                else  ang=PI-ang;
                        break;
                case TO_LOAD :if(ang>=PI)
                                    ang=ang-PI;  /* to load */
                                else  ang=ang+PI;
                        break;
        }/* end switch */
        scal_c=ang/(4*PI);
        return scal_c;
}
```

โปรแกรมย่อย หาค่าความชันของเส้นโค้งรีแอคแตนซ์และซัสเซฟแตนซ์คงที่

```
void X_line_cir(float slope,float r,int zone)
{
        if(slope!=INFINITY)
        {       comp.re=sqrt(pow(r,2)/(pow(slope,2)+1));
                comp.im=slope*comp.re;
        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        else
        {       comp.re=0;
                comp.im=r;
        }
        if(zone==2 || zone==3) comp.re*=(-1);
        comp.im*=(-1);
}
```

โปรแกรมย่อย หาค่ามุมของเส้นโค้งรีแอคแตนซ์และซัสเซฟแตนซ์คงที่

```
float Slope_from_angle(float ang)
{       float slope;
        if(ang!=(PI/2) || ang!=(-PI/2) )  slope=tan(ang);
        else     slope=INFINITY;
        return slope;
}
```

โปรแกรมย่อย หาค่ามุมของความยาวคลื่น (แลมป์ด้า)

```
float Angle_from_lamda(float lamda,int mode)
{       float ang;
        lamda*=(4*PI);
        switch(mode)
        {       case 1 : ang=(3*PI)-lamda;
                         if(ang>=(2*PI)) ang-=(2*PI);     break;
                case 2 : if(lamda>=PI)   ang-=PI;
                         else ang+=PI;                    break;
        } /* end switch */
        return ang;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมย่อยการแบ่งแนวแกน x,y ออกเป็น 4 ส่วน

```
int Quardrent_coor(float x,float y)
{
        int zone;
        if(x>=0 && y>=0) zone=1;
        if(x<0 && y>=0) zone=2;
        if(x<0 && y<0) zone=3;
        if(x>=0 && y<0) zone=4;
        return zone;
}
```

โปรแกรมย่อย คำนวณแบ่งและกำหนดค่าความยาวคลื่นมีทั้งหมด 4 ส่วน

```
int Quardrent_lamda(float scal_c,int mode)
{
        int zone;
        switch(mode)
        {
                case 1 : if(scal_c>=0 && scal_c<=0.125) zone=2;
                         if(scal_c>12.5 && scal_c<=0.25) zone=1;
                         if(scal_c>0.25 && scal_c<=0.375) zone=4;
                         if(scal_c>0.375 && scal_c<0.5) zone=3;
                         break;
                case 2 : if(scal_c>=0 && scal_c<=0.125) zone=3;
                         if(scal_c>12.5 && scal_c<=0.25) zone=4;
                         if(scal_c>0.25 && scal_c<=0.375) zone=1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                if(scal_c>0.375 && scal_c<0.5) zone=2;
                        break;
                }
return zone;
}
```

โปรแกรมย่อยหาค่าความยาวคลื่น (แลมป์ด้า) มีการแสดงผลด้วย

```
void Wave_lenght(void)
{
if(frequency!=0) {
        wave_lenght=30000/frequency;    /* frequency unit in kilo
*/
        Write_value(RWA,wave_lenght,0); /* wave lenght */
} else {
        wave_lenght=INFINITY; /* wave lenght==infinity */
        Normal_bar(RWA);
        Outthaibar(135,RWA,"Infinity");
        }
}
```

โปรแกรมย่อย คำนวณหาค่า VSWR และมีการกำหนดค่าด้วย

```
void Vswr(void)
{
rr=sqrt(pow(xx,2)+pow(yy,2));
if(rr==1) {
        Normal_bar(14);vswr=INFINITY;
        Outthaibar(130,RVSWR,"Infinity");
        } else vswr=2/(1-rr)-1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Write_value(RVSWR,vswr,0); /* vswr */
}
```

โปรแกรมย่อย ค้นหาตำแหน่งเริ่มต้นในแกน y

```
void Fine_yl(void)
{
        Convert_coor2zl(-xx,yy);
        ylr=comp.re;ylc=comp.im; /* yl/yo */
        Write_value(RYLN,ylr,ylc);   /* yl/yo */
        Write_value(RYL,ylr*chim,ylc*chim);   /* yl     */
}
```

ฟังก์ชั่น swr ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการหาค่า Swr ของสมิธชาร์ต

```
void Swr(void)
{
        if(vswr>0)
        {
                swr=20*log10(vswr);
                Write_value(RSWR,swr,0); /* swr */
        }
        else
        {
                swr=INFINITY;
                Normal_bar(RSWR);
                Outthaibar(126,RSWR,"Infinity"); /* swr==infinity */
        }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Power_mis ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการหาค่ากำลังงานสูญเสียของสายอากาศ

```
void Power_mis(void)
{   float temp;
    temp=pow(gamma,2);
    if(temp<=1)
    {     pmis=10*log10(1/(1-temp));
          Write_value(RPM,pmis,0); /* power missmath */
    }
    else
    {     pmis=INFINITY;
          Normal_bar(RPM);
          Outthaibar(126,RPM,"Infinity"); /* power mismath==infinity */
    }
}
```

ฟังก์ชั่น Power_return ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการหาค่ากำลังงานย้อนกลับของสายอากาศ

```
void Power_return(void)
{   float temp,temp1;
    temp=gamma;
    if(temp==0) temp1=INFINITY;
    else  temp1=1/temp;
    if(temp1>0)
    {     pret=20*log10(temp1);
          Write_value(RPR,pret,0); /* power return */
    }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    else
    {   pret=INFINITY;
        Normal_bar(RPR);
        Outthaibar(15,RPR,"Infinity"); /* power return==infinity */
    }
}
```

ฟังก์ชั่น Gamma ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการหาค่า Gamma

```
void Gamma(void)
{   if(vswr!=(-1))
    {   gamma=(vswr-1)/(vswr+1);
        rite_value(RG,gamma,0);  /* gamma */
        Write_value(RGG,pow(gamma,2),0);  /* gamma^2 */
    } else {
        gamma=INFINITY;
        Normal_bar(RGG);
        Outthaibar(15,RG,"Infinity");  /* gamma==infinity   */
        }
}
```

ฟังก์ชั่น Draw_vswr ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการวาดรูปวงกลมแสดงค่า vswr ที่ได้จากการคำนวณ

```
void Draw_vswr(void)
{
Mem_pic(CIRCLE,0,0,0,0,0,0,rr);
List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Draw_zl ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการวาดรูปแสดงค่า zl ที่ได้จากการคำนวณ

```
void Draw_zl(void)
{       float ang;
Mem_pic(CIRCLE,resis/(resis+1),0,0,0,0,0,1/(resis+1));
List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
ang=2*atan(react) ;
if(react<0) {
        Mem_pic(ARC,1,1/react,0,0,(PI/2),(PI/2)-ang,-1/react);
                List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
} else {
        Mem_ic(ARC,1,1/react,0,0,(3*PI/2)-ang,(3*PI/2),1/react);
                List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
                Mem_pic(POINT,xx,yy,0,0,0,0,0);
                List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
        }
}
```

ฟังก์ชั่น Draw_admittance ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่วาดรูปแสดงค่าแอดมิตแตนซ์ที่ได้จากการคำนวณ

```
void Draw_admittance(void)
{
Mem_pic(LINE,xx,yy,-xx,-yy,0;0,0);
List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
Mem_pic(POINT,-xx,-yy,0,0,0,0,0);
List_pic(seg-1,NORMAL_CL);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Edit ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่แก้ไขค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสมิธชาร์ต

```
void Edit(void)
{       float   tem;
        int  key=0,row=21,i,j=0,k=0,abort=0;
        int  mx,my,sts;
        unsigned char inputstr2[20];
        struct regein ok,cancle;
                ok.fy=cancle.fy=322;
                ok.ly=cancle.ly=345;
                ok.fx=336;ok.lx=416;
                cancle.fx=464;cancle.lx=544;
Save_img(260,100,600,380);
setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
Mouse_hide_cursor();
bar(260,100,600,380);
Frame_up(260,100,600,380);
Frame_up(270,110,590,370);
Mouse_show_cursor();
setcolor(BLACK);
Outthaibar(372,168,"ความต้านทานจำเพาะ");
Outthaibar(380,232,"ความต้านทานโหลด");
Outthaibar(395,296,"ความถี่(MHz)");
Outthaibar(549,136,"ohm");
Outthaibar(549,200,"ohm");
Outthaibar(549,264,"MHz");
Normal_row(9,42,68);
Normal_row(13,42,68);
Normal_row(17,42,68);
Normal_row(21,58,68);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Inverse_row(21,42,52);
sprintf(inputstr,"%-5.3f",chim);
Outthaibar(378,136,inputstr);
if(zinc<0) {
                sprintf(inputstr,"%-5.2f-j%-5.2f",zlr,zlc);
                Outthaibar(378,200,inputstr);
} else {
        sprintf(inputstr,"%-5.2f+j%-5.2f",zlr,zlc);
        Outthaibar(369,200,inputstr);
        sprintf(inputstr,"%-5.3f",frequency);
        Outthaibar(369,264,inputstr);
        Outthaibar(486,328,"ยกเลิก");
        setcolor(YELLOW);
        Otthaibar(356,328,"ตกลง");
        etcolor(WHITE);
        do {
            Mouse_wait();
            sts=Readkey();
            if(sts==1) {
                mx=Mouse_x();
                my=Mouse_y();
                if(mx>336&&mx<543) {
                    if(my>131&&my<154) {
                    Normal_edit(row);
                    row=9;
                    Inverse_edit(row);
                    key=RETURN;
                    }
                if(my>196&&my<217) {
                    Normal_edit(row);
                    row=13;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    Inverse_edit(row);
                    key=RETURN;
                    }
                if(my>258&&my<282) {
                        Normal_edit(row);
                        row=17;
                        Inverse_edit(row);
                        key=RETURN;
                        }
                    }
            if(mx>336&&mx<416&&my>322&&my<345) {
                    Frame_down(336,322,416,345);
                    key=RETURN;row=21;
                    Mouse_wait();
                    }
            if(mx>464&&mx<544&&my>322&&my<345) {
                    Frame_down(464,322,544,345);
                    key=RETURN;row=21;
                    key=ESCAPE;
                    Mouse_wait();
                    }
                } else {
                    key=bioskey(0);
        switch(key) {
            case DOWN_ARROW : Normal_edit(row);
                        if(row==21) row=9;
                        else row+=4;
                        Inverse_edit(row);
                        break;
            case UP_ARROW :Normal_edit(row);
                    if(row==9) row=21;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    else row-=4;
                    Inverse_edit(row);
                    break;
case LEFT_ARROW :   if(row==21)
                    Inverse_row(21,42,52);
                    setcolor(YELLOW);
                    Outthaibar(356,328,"ตกลง");
                    Normal_row(21,58,68);
                    setcolor(WHITE);
                    Outthaibar(486,328,"ยกเลิก");
                    abort=0;
                    break;
case RIGHT_ARROW :if(row==21)
                    Inverse_row(21,58,68);
                    setcolor(YELLOW);
                    Outthaibar(486,328,"ยกเลิก");
                    Normal_row(21,42,52);
                    setcolor(WHITE);
                    Outthaibar(356,328,"ตกลง");
                    abort=1;break;
case RETURN :switch(row){
                case  9:Inverse_row(row,42,68);
                        if(Readstr(44,9,10,ok,cancle))
                        {  tem=chim;
                           chim=atof(inputstr);
                           if(chim==0)
                           {  chim=tem;
                              Outmsg("ค่าเป็นศูนย์");
                           }
                        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    sprintf(inputstr,"%-5.2f",chim);
                    Inverse_row(row,42,68);
                    setcolor(YELLOW);
                Outthaibar(369,(row-1)*16+8,inputstr);
                    break;
            case 13 :Inverse_row(row,42,68);
              if(Readstr(44,13,10,ok,cancle))
              { i=0;j=0;k=0;
                do  {
                if(inputstr[i]=='+'||inputstr[i]=='-')j=1;
                if(inputstr[i]>=43&&inputstr[i]<=57)
                {
                    inputstr2[k]=inputstr[i];k++;
                    inputstr[i]='';
                }   i++;
                    } while(inputstr[i]!='');
                inputstr2[k]='';
                if(strcmp("",inputstr))
                {
                    zlr=atof(inputstr);
                    zlc=atof(inputstr2);
                }
              }
        if(zlc<0) sprintf(inputstr,"%-5.2f-j%-5.2f",zlr,zlc);
        else sprintf(inputstr,"%-5.2f+j%-5.2f",zlr,zlc);
                    Inverse_row(row,42,68);
                    setcolor(YELLOW);
                    Outthaibar(360,(row-1)*16+9,inputstr);
                        break;
                case 17:Inverse_row(row,42,68)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    if(Readstr(44,17,10,ok,cancle)) {
                    tem=atof(inputstr);
                    if(tem>0) frequency=tem; {
                    sprintf(inputstr,"%-5.3f",frequency);
                            Inverse_row(row,42,68);
                            setcolor(YELLOW);
                    Outthaibar(360,(row-1)*16+9,inputstr);
                            break;
                case 21:if(abort==1||abort==0)
                            key=ESCAPE;
                            break;
                            } /* end sub switch */
                            break;
                    }/* end switch */
            while(((key==RETURN)&&(row!=21))||(key!=ESCAPE));
Load_img(260,100);
Write_value(RFR,frequency,0);  /* frequency */
Wave_lenght();
Write_value(RZO,chim,0);   /* Zo */
Write_value(RZL,zlr,zlc);   /* Zl */
}
```

ฟังก์ชั่น Normal_Edit ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการทำแถบสว่างของเมนู Edit

```
void Normal_edit(int row)
{
switch(row) {
        case 9  :Normal_row(row,42,68);
                sprintf(inputstr,"%-5.3f",chim);
                Outthaibar(369,(row-1)*16+8,inputstr);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                break;
        case 13 :Normal_row(row,42,68);
                if(zinc<0)
                        sprintf(inputstr,"%-5.2f-j%-5.2f",zlr,zlc);
                else sprintf(inputstr,"%-5.2f+j%-5.2f",zlr,zlc);
                Outthaibar(369,(row-1)*16+8,inputstr);
                break;
        case 17 :Normal_row(row,42,68);
                sprintf(inputstr,"%-5.3f",frequency);
                Outthaibar(369,(row-1)*16+8,inputstr);
                break;
        case 21 :Normal_row(21,42,52);
                Outthaibar(356,328,"ตกลง");
                Normal_row(21,58,68);
                Outthaibar(486,328,"ยกเลิก");
                break;
        }
}
```

ฟังก์ชั่น Invert_Edit ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการทำแถบสว่างของเมนู Edit ให้เป็นอีกสีหนึ่ง

```
void Inverse_edit(int row)
{
switch(row) {
        case 9 :Inverse_row(row,42,68);
                sprintf(inputstr,"%-5.3f",chim);
                setcolor(YELLOW);
                Outthaibar(369,(row-1)*16+8,inputstr);
                break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            case 13 :Inverse_row(row,42,68);
                    if(zinc<0)
                            sprintf(inputstr,"%-5.2f-j%-5.2f",zlr,zlc);
                    else sprintf(inputstr,"%-5.2f+j%-5.2f",zlr,zlc);
                    setcolor(YELLOW);
                    Outthaibar(369,(row-1)*16+8,inputstr);
                    break;
            case 17 :sprintf(inputstr,"%-5.3f",frequency);
                    Inverse_row(row,42,68);
                    setcolor(YELLOW);
                    Outthaibar(369,(row-1)*16+8,inputstr);
                    break;
            case 21 :Inverse_row(21,42,52);
                    setcolor(YELLOW);
                    Outthaibar(356,328,"ตกลง");
                    break;
            }
    setcolor(WHITE);
    }
```

ฟังก์ชั่น Write_content ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการเขียนข้อความลงในเมนู

```
void Write_content(void)
{       int row;
setcolor(BLACK);
Outthaibar(9,RZO,"Zo   =");
Print_unit(212,RZO,OHM);
Outthaibar(9,RZL,"ZL   =");
Print_unit(212,RZL,OHM);
Outthaibar(9,RYL,"YL   =");
Print_unit(212,RYL,MHO);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Outthaibar(9,RZLN,"ZL/Zo =");
Print_unit(212,RZLN,OHM);
Outthaibar(9,RYLN,"YL/Yo =");
Print_unit(212,RYLN,MHO);
Outthaibar(9,RFR,"ความถี่   =");
outtextxy(209,RFR,"Hz");
Outthaibar(9,RWA,"ความยาวคลื่น =");
outtextxy(209,RWA,"cm");
Outthaibar(9,RVSWR,"VSWR              =");
Outthaibar(9,RSWR,"SWR                =");
outtextxy(203,RSWR,"dB");
Outthaibar(9,RPM,"Power mismat=");
outtextxy(203,RPM,"dB");
Outthaibar(9,RPR,"Power Return=");
outtextxy(203,RPR,"dB");
Outthaibar(9,RG,"Gamma          =");
Outthaibar(9,RGG,"Gamma 2      =");
setcolor(WHITE);
for(row=RZO;row<=RWA;row+=20)
        Normal_bar(row);
for(row=RVSWR;row<=RGG;row+=20)
        Normal_bar(row);
}
```

ฟังก์ชั่น Write_Valueฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการเขียนค่าต่างๆลงในเมนู

```
void Write_value(int row,float cpr,float cpc)
{
setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
switch(row) {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            case RZL : if(cpr>=1000000||cpc>=1000000)
                            cpr/=1000000;cpc/=1000000;
                       Outthaibar(197,RZL+3,"M");
                       if(cpr>=1000||cpc>=1000)
                            cpr/=1000;cpc/=1000;
                       Outthaibar(197,RZL+3,"K");
                       break;
            case RYL : if(cpr>=1000||cpc>=1000)
                       cpr/=1000;cpc/=1000;
                       Outthaibar(197,RYL+3,"K");
                       break;
            case RZLN :if(cpr>=1000||cpc>=1000)
                       cpr/=1000;cpc/=1000;
                       Outthaibar(197,RZLN+3,"K");
                       break;
            case RYLN :if(cpr>=1000||cpc>=1000)
                       cpr/=1000;cpc/=1000;
                       Outthaibar(197,RYLN+3,"K");
                       break;
            case RFR  :if(cpr>=1000)
                       cpr/=1000;cpc/=1000;
                       Outthaibar(197,RFR+3,"G");
                       if(cpr<1)
                            cpr*=1000;cpc*=1000;
                       Outthaibar(197,RFR+3,"K");
                       break;
    }
    Mouse_hide_cursor();
    Normal_bar(row);
    setcolor(WHITE);
    if(row>=RZL&&row<=RYLN) {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            if(cpc>=0) sprintf(inputstr,"%-5.2f+j%5.2f",cpr,cpc);
            else sprintf(inputstr,"%-5.2f-j%5.2f",cpr,cpc*(-1));
            Outthaibar(75,row,inputstr);
    } else {
            if(row==RZO) {
                    sprintf(inputstr,"%-5.3f",cpr);
                    Outthaibar(75,row,inputstr);
            } else {
                    sprintf(inputstr,"%-5.3f",cpr);
                    Outthaibar(125,row,inputstr);
                    }
            }
    Mouse_show_cursor();
    }
```

ฟังก์ชั่น Normal_bar ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการกำหนดแถบสว่างที่เมนู

```
void Normal_bar(int row)
{       int col=120;
Mouse_hide_cursor();
setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
setcolor(WHITE);
if(row<=RYLN) col=70;
        bar3d(col,row-3,195,row+15,0,0);
setcolor(DARKGRAY);
line(col,row-3,195,row-3);
line(col,row-3,col,row+15);
setcolor(WHITE);
Mouse_show_cursor();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Save_img ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการเก็บรูปภาพที่หน้าจอ

```
int Save_img(int x1,int y1,int x2,int y2)
{
        imgsize=imagesize(x1,y1,x2,y2);
        img=farmalloc(imgsize);
        if(img!=NULL)
        {       Mouse_hide_cursor();
                getimage(x1,y1,x2,y2,img);
                Mouse_show_cursor();
                return 1;
        } else {        printf("%c",'7');
                        Outmsg("");
                        return 0;
                }
}
```

ฟังก์ชั่น Load_img ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการโหลดรูปภาพที่เก็บไว้มาแสดงบนหน้าจอ

```
void Load_img(int x1,int y1)
{
        if(img!=NULL)
        {       Mouse_hide_cursor();
                putimage(x1,y1,img,0);
                Mouse_show_cursor();
                farfree(img);
        }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Outmsg ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการแสดงข้อความออกที่หน้าจอตามตำแหน่งที่ต้องการ

```
void Outmsg(char item[100])
{
        Mouse_hide_cursor();
        setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
        bar(4,450,219,477);
        setcolor(BLACK);
        Outthaibar(4,460,item);
        setcolor(WHITE);
        Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังก์ชั่น Start_dialog ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการเขียนกรอบเพื่อกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้น

```
void Start_dialog(void)
{
        Write_value(RZO,chim,0);  /* Zo */
        Write_value(RZL,zlr,zlc);  /* Zl */
        resis=zlr/chim;react=zlc/chim;
        Write_value(RZLN,resis,react);  /* Zl/Zo Zl normalize */
        Convert_zl2coor(resis,react);
        xx=comp.re;yy=comp.im;
        Vswr();
        Fine_yl();
        Swr();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Power_mis();
Power_return();
Gamma();
Write_value(RFR,frequency;0);  /* frequency */
Wave_lenght();
}
```

ฟังก์ชั่น Normal_row ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการกำหนดแถบสว่างที่แถวหัวข้อของเมนู

```
void Normal_row(int row,int start,int finish)
{
Mouse_hide_cursor();
setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
setcolor(BLACK);
bar3d(start*8,(row*16)-14,finish*8,(row*16)+9,0,0);
setcolor(WHITE);
line(start*8,(row*16)-14,finish*8,(row*16)-14);
line(start*8,(row*16)-14,start*8,(row*16)+9);
Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังก์ชั่น Invert_row ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการกำหนดแถบสว่างที่แถวหัวข้อของเมนูให้เป็นสีที่ต่างออกไป

```
void Inverse_row(int row,int start,int finish)
{
Mouse_hide_cursor();
setfillstyle(1,BLACK);
setcolor(WHITE);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        bar3d(start*8,(row*16)-14,finish*8,(row*16)+9,0,0);
        setcolor(BLACK);
        line(start*8,(row*16)-14,finish*8,(row*16)-14);
        line(start*8,(row*16)-14,start*8,(row*16)+9);
        setcolor(WHITE);
        Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังก์ชั่น Chang_zo ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนค่า zo ให้มีค่าใหม่

```
void Change_zo(void)
{       float zo;
        struct regein ok,cancle;
        Save_img(260,170,600,300);
        Text_box();
        setcolor(BLACK);
        Outthaibar(360,183,"กรุณาใส่ค่า Zo");
        Inverse_row(16,37,63);
        ok.fx=cancle.fx=525;
        ok.lx=cancle.lx=585;
        ok.fy=220;ok.ly=240;
        cancle.fy=260;cancle.ly=280;
        if(Readstr(39,16,22,ok,cancle))
        zo=atof(inputstr);
        if(zo!=0) chim=zo;
        Start_dialog();
        Load_img(260,170);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Chang_zl ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนค่า zl ให้มีค่าใหม่

```
void Change_zl(int mode)
{   int i,j,k;
    char inputstr2[20];
    struct regein ok,cancle;
    Save_img(260,170,600,300);
    Text_box();
    setcolor(BLACK);
    if(mode==1)  Outthaibar(340,183,"กรุณาใส่ค่าความต้านทานโหลด");
    else         Outthaibar(355,183,"กรุณาใส่ค่า ZL/Zo");
    Inverse_row(16,37,63);
    ok.fx=cancle.fx=525;
    ok.lx=cancle.lx=585;
    ok.fy=220;ok.ly=240;
    cancle.fy=260;cancle.ly=280;
    if(Readstr(39,16,22,ok,cancle))
    {    if(inputstr!="")
         {   i=0;j=0;k=0;
             do{  if(inputstr[i]=='+'||inputstr[i]=='-')j=1;
                  {  if(j==1)
                     {  if(inputstr[i]>=43&&inputstr[i]<=57)
                        {  inputstr2[k]=inputstr[i];k++;
                           inputstr[i]='';}
                        };
                  };i++;
             } while(inputstr[i]!='');
             inputstr2[k]='';
             zlr=atof(inputstr);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            zlc=atof(inputstr2);
            if(mode==0)zlr*=chim;zlc*=chim;
            Start_dialog();
        }
    }
    Load_img(260,170);
}
```

ฟังก์ชั่น Chang_yl ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนค่า yl ให้มีค่าใหม่

```
void Change_yl(int mode)
{   int i,j,k;
    char inputstr2[20];
    struct regein ok,cancle;
    float x1,y1;
    Save_img(260,170,600,300);
    Text_box();
    setcolor(BLACK);
    if(mode==1)  Outthaibar(325,183,"กรุณาใส่ค่า ADMITTANCE");
    else         Outthaibar(340,183,"กรุณาใส่ค่า YL/Yo");
    Inverse_row(16,37,63);
    ok.fx=cancle.fx=525;
    ok.lx=cancle.lx=585;
    ok.fy=220;ok.ly=240;
    cancle.fy=260;cancle.ly=280;
    if(Readstr(39,16,22,ok,cancle)) {
        if(inputstr!="") {
            i=0;j=0;k=0;
            do
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    if(inputstr[i]=='+'||inputstr[i]=='-')j=1;{
                        if(j==1) {
                    if(inputstr[i]>=43&&inputstr[i]<=57) {
                        inputstr2[k]=inputstr[i];k++;
                        inputstr[i]='';
                            }
                            };I++;
                        }
        } while(inputstr[i]!='');
        inputstr2[k]='';
        ylr=atof(inputstr);         /*normalize*/
        ylc=atof(inputstr2);    /*normalize*/
        if(mode==0)ylr/=chim;ylc/=chim;
        zlr=1/ylr;          /*from zl=1/yl*/
        zlc=1/ylc;
        Start_dialog();
        }
}
Load_img(260,170);
}
```

ฟังก์ชั่น Chang_frequency ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนค่าความถี่ ให้มีค่าใหม่

```
void Change_frequency(void)
{       struct regein ok,cancle;
Save_img(260,170,600,300);
Text_box();
setcolor(BLACK);
Outthaibar(340,183,"ใส่ค่าความถี่ใหม่");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Inverse_row(16,37,63);
ok.fx=cancle.fx=525;
ok.lx=cancle.lx=585;
ok.fy=220;ok.ly=240;
cancle.fy=260;cancle.ly=280;
if(Readstr(39,16,15,ok,cancle)) {
        if(inputstr!="") {
                frequency=atof(inputstr);
                Write_value(RFR,frequency,0);
                Wave_lenght();
                }
}
Load_img(260,170);
}
```

ฟังก์ชั่น Chang_wavelenge ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนค่าความยาวคลื่นให้มีค่าใหม่

```
void Change_wavelenght()
{       struct regein ok,cancle;
Save_img(260,170,600,300);
Text_box();
setcolor(BLACK);
Outthaibar(330,183,"ใส่ค่าความยาวคลื่นใหม่");
Inverse_row(16,37,63);
ok.fx=cancle.fx=525;
ok.lx=cancle.lx=585;
ok.fy=220;ok.ly=240;
cancle.fy=260;cancle.ly=280;
if(Readstr(39,16,15,ok,cancle)) {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if(inputstr!="") {
                wave_lenght=atof(inputstr);
                frequency=30000/wave_lenght;
                Write_value(RFR,frequency,0);
                Write_value(RWA,wave_lenght,0);
                }
Load_img(260,170);
        }
}
void Print_unit(int x,int y,int ptt)
{       int i,j=0;
unsignedohm[16]=0x3c,0x42,0x42,0x81,0x81,0x81,0x42,0x24,
                                0x24,0x24,0xe7;
unsignedlamda[16]=0x80,0x40,0x20,0x10,0x08,0x14,0x22,0x41,
                                0x81,0x81,0x81;
switch(ptt) {
        case 1: for(i=0;i<=10;i++) {
                setlinestyle(USERBIT_LINE,ohm[i],1)
                line(x,y+i,x+7,y+i);
                }
                break;
        case 2: for(i=10;i>=0;i--) {
                        setlinestyle(USERBIT_LINE,ohm[i],1);
                        j++;
                        line(x,y+j,x+7,y+j);
                        }
                        break;
        case 3: for(i=0;i<=10;i++) {
                        setlinestyle(USERBIT_LINE,lamda[i],1);
                        line(x,y+i,x+7,y+i);
                        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    break;
        }
setlinestyle(0,0,1);
}
```

ฟังก์ชั่น Color_Chartฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการกำหนดสีของรูปสมิธชาร์ต

```
void Color_chart(int mode)
{       int sts,key;
    .   int mx,my,colors;
Mouse_hide_cursor();
Save_img(250,140,610,340);
Color_pattern();
Mouse_show_cursor();
setfillstyle(1,colors);
setcolor(BLACK);
switch(mode) {
        case 0: Outthaibar(385,260,"สีของสมิธชาร์ต");
                colors=chcolor;
                break;
        case 1: Outthaibar(390,260,"สีของพื้นหลัง");
                colors=bkcolor;
                break;
        case 2: Outthaibar(410,260,"สีของรูป;
                colors=NORMAL_CL;
                break;
        case 3: Outthaibar(385,260,"สีที่ต้องการจะลบ");
                colors=INVESE_CL;
                break;
        }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
setfillstyle(1,colors);
Mouse_hide_cursor();
bar3d(380,210,480,240,0,0);
Mouse_show_cursor();
        do {
                Mouse_wait();
                sts=Readkey();
        switch(sts) {
                        case 0: key=bioskey(0);  break;
                        case 2: key=ESCAPE;   break;
                        case 1: mx=Mouse_x();
                                my=Mouse_y();
                                if(my>161&&my<190) {
                        colors=Change_color(chcolor,mx);
                        setcolor(BLACK);
                        setfillstyle(1,colors);
                        bar3d(380,210,480,240,0,0);
                        setcolor(WHITE);
                        }
                        if(my>290&&my<315) {
                                if(mx>470&&mx<550) {
                        Frame_down(470,290,550,315);
                        key=ESCAPE;
                        Mouse_wait();
                                }
                        if(mx>320&&mx<400) {
                        Frame_down(320,290,400,315);
                        key=RETURN;
                        Mouse_wait();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

```
                    break;
                    }
                } while(key!=ESCAPE&&key!=RETURN);
                Load_img(250,140);
    if(key==RETURN) {
        switch(mode) {
                case 0: chcolor=colors;
                        Clear_chart_frame();
                        Redraw();
                        break;
                case 1: bkcolor=colors;
                        Clear_chart_frame();
                        Redraw();
                        break;
                case 2: NORMAL_CL=colors;
                        Clear_chart_frame();
                        Redraw();
                        break;
                case 3: INVESE_CL=colors;
                        break;
                }
        }
    }
```

ฟังก์ชั่น Chang_color ฟังก์ชั่นนี้ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสีที่รูปภาพ

```
int Change_color(int oldcolor,int mx)
{       int colors=oldcolor;
if(mx>268&&mx<=286) colors=0;
if(mx>286&&mx<=305) colors=1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(mx>305&&mx<=325) colors=2;
if(mx>325&&mx<=346) colors=3;
if(mx>346&&mx<=367) colors=4;
if(mx>367&&mx<=386) colors=5;
if(mx>386&&mx<=406) colors=6;
if(mx>406&&mx<=426) colors=7;
if(mx>426&&mx<=446) colors=8;
if(mx>446&&mx<=466) colors=9;
if(mx>466&&mx<=487) colors=10;
if(mx>487&&mx<=507) colors=11;
if(mx>507&&mx<=525) colors=12;
if(mx>525&&mx<=546) colors=13;
if(mx>546&&mx<=567) colors=14;
if(mx>567&&mx<=587) colors=15;
return colors;
}
```

จบโปรแกรม CCC.C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม SCANDCODE.H

โปรแกรมนี้ใช้ในการเก็บรวบรวมค่าตัวแปรต่างๆ ที่แต่ละโปรแกรมใช้ร่วมกัน เช่น ค่าของตัวแปรต่างๆที่จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าไว้ก่อนล่วงหน้า โดยทุกๆ โปรแกรมที่ใช้ตัวแปร หรือค่าอื่น ๆ ที่ถูกกำหนดไว้ในโปรแกรมนี้ จะต้องนำโปรแกรมนี้รวมเข้าไปในโปรแกรมที่เขียนขึ้น ขณะที่เราทำการคอมไพล์ โดยใช้คำสั่ง #include"scancode.h"

```
#define INFINITY      9999
#define PI      3.141593

#define ON      1
#define OFF     0
#define NORMAL      1
#define INVERSE     0

#define TO_GEN      1
#define TO_LOAD     2
#define PLUS    0
#define HAND    1

#define LINE    1
#define CIRCLE      2
#define ARC     3
#define POINT   4
#define PIXEL   5
#define TEXT    6
#define RECTANGLE   7

#define ESCAPE      0x011b
#define RETURN      0x1c0d
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#define SPACE          0x3920
#define UP_ARROW       0x4800
#define DOWN_ARROW     0x5000
#define LEFT_ARROW     0x4b00
#define RIGHT_ARROW    0x4d00
#define MOUSE          0x2b1c

#define ALT_X          0x2d00

#define RZO    60
#define RZL    80
#define RYL    100
#define RZLN   120
#define RYLN   140
#define RFR    160
#define RWA    180
#define RVSWR  210
#define RSWR   230
#define RPM    250
#define RPR    270
#define RG     290
#define RGG    310
```

ประกาศชื่อของไฟล์ที่ซึ่งจะดึงเข้ามาไว้ในโปรแกรมด้วย

```
#include<graphics.h>
#include<math.h>
#include<stdio.h>
#include<conio.h>
#include<alloc.h>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include<string.h>
#include<dos.h>
#include<bios.h>
#include<ctype.h>
#include<process.h>
#include<dir.h>
```

ประกาศชนิดของตัวแปรที่กำหนดขึ้นเอง

```
typedef struct command {
                int     comm;
                float   x1;
                float   x2;
                float   y1;
                float   y2;
                float   stang;
                float   edang;
                float   radial;
                char    content[12];
                }

typedef struct comx {
                float   re;
                float   im;
              }


typedef struct menu_status {
                        int     door;
                        int     choice_no;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        int     menu_no;
        int     key;
    }

typedef struct regein {
        int     fx;
        int     fy;
        int     lx;
        int     ly;
    }
```

ชื่อของฟังก์ชั่นย่อยที่กำหนดให้เป็นฟังชั่นชนิด EXTERN

```
extern  float Angle_line(float x,float y);
extern  float Angle_from_lamda(float lamda,int mode);
extern  void Convert_zl2coor(float real,float complex);
extern  void Delete(void);
extern  float Slope_from_angle(float ang);
extern  float Lamda_scale(float x,float y,
extern  int  Quardrent_coor(float x,float y);
extern  void Move(void);
extern  void Outthaibar(int column,int row,char *contents);
extern  void Mouse_img(int mode);
extern  void Redraw(void);
extern  void Point(int x,int y);
extern  void Clear_chart_frame(void);
extern  void List_pic(int number,int colors);
extern  void Mem_pic(int cmd,float xx1,float yy1,float xx2,
extern  float yy2,float sang,float deng,float radl);
extern  void Vswr(void);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
extern  void Convert_coor2zl(float x,float y);
extern  int  Quradrent_lamda(float scal_c,int mode);
extern  void X_line_cir(float slope,float r,int zone);
extern  void Fine_yl(void);
extern  void Swr(void);
extern  void Power_mis(void);
extern  void Power_return(void);
extern  void Gamma(void);
extern  void Draw_zl(void);
extern  void Draw_scalc(int mode);
extern  void Draw_admittance(void);
extern  void Edit(void);
extern  void Start_dialog(void);
extern  void Outmsg(char item[100]);
extern  void Write_content(void);
extern  void Write_value(int row,float cpr,float cpc);
extern  void Inverse_bar(int row);
extern  void Normal_bar(int row);
extern  void Normal_row(int row,int start,int finish);
extern  void Inverse_row(int row,int start,int finish);
```

จบโปรแกรม SCANDCODE.H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม SOUND.C

โปรแกรม SOUND.C เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการสร้างเสียงเพลงในตอนที่เข้ามาในโปรแกรมครั้งแรกจะใช้เพลงสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าโดยจะรอจนกว่าผู้ใช้จะกดคีย์ใดๆจึงจะออกจากโปรแกรม

กำหนดความถี่ของโน๊ตแต่ละเสียง

```
#define G1      196
#define A1      220
#define B1      244
#define c       262
#define d       292
#define e       330
#define f       349
#define g       392
#define a       440
#define b       494
#define c2      524
```

ฟังก์ชั่น Song_Mach ฟังก์ชั่นนี้ใช้ในการสร้างเสียงเพลง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

```
Song_mach()
{       int note[266]= e,e,a,a,g,g,g,g,g,g,g,g,g,g,e,e,d,d,c,c,A1,A1,
d,d,c,c,A1,A1,G1,G1,G1,G1,e,e,a,a,g,g,g,d,e,e,a,a,g,g,c2,c2,a,a,e,eg,
g,c,c,d,d,e,e,d,d,d,d,G1,G1,e,e,d,d,d,d,d,d,d,d,d,d,c,c,A1,A1,G1,G1,c
,c,c,d,e,e,d,d,e,e,e,e,g,g,g,d,e,e,e,d,e,e,a,a,g,g,e,e,d,d,A1,A1,c,c,c,c,c,c
,c,c,c,c,c,f,f,f,g,f,f,g,g,g,g,c,c,c,c,c,c,a,a,a,g,e,e,g,g,e,e,d,d,c,c,c,c,d,d
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
,d,d,c,c,d,d,g,g,e,e,d,d,c,c,c,c,B1,B1,d,d,B1,B1,A1,A1,G1,G1,G1,G1
,G1,G1,G1,G1,G1,G1,G1,G1,e,e,a,a,g,g,g,g,g,g,g,g,g,g,ee,d,d,c,c,A1
,A1,d,d,c,c,A1,A1,G1,G1,G1,G1,e,e,a,a,g,g,g,d,e,e,a,a,g,g,c2,c2,a,a,
e,e,g,g,e,e,d,d,A1,A1,c,c,c,c,c,c,c,c,c,c;
        int index=0;
do {
        sound(note[index]);
        delay();
        index++;
        if(index==266)
                index=0;
   } while(!kbhit());
nosound();
}
```

จบโปรแกรม SOUND.C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม CRTPRINT.C

โปรแกรม CRTPRINT.C เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับการพิมพ์ภาพ สมิธชาร์ตออกทางเครื่องพิมพ์ ซึ่งโปรแกรมสามารถที่จะตรวจสอบความพร้อมของเครื่องพิมพ์ได้

```
#include"scancode1.h"
```

กำหนดสถานะต่างๆของเครื่องพิมพ์

```
#define TIME_OUT_BIT        0x0001
#define IO_ERROR_BIT        0x0008
#define PAPER_OUT_BIT       0x0020
#define ERROR_BITS (TIME_OUT_BIT|IO_ERROR_BIT|PAPER_OUT_BIT)
#define PORT_LPT1    0
#define MIN_TIME_OUT        1
#define TIME_OUT_ADDR       0x00400078
unsigned char far *time_out_pointer = (unsigned char far *)
TIME_OUT_ADDR;
```

ประกาศชื่อฟังก์ชั่นย่อย

```
int Get_time_out(int port)
        {return(time_out_pointer[port]);}
void Set_time_out(int value,int port)
        {time_out_pointer[port] = value;}
void Define_error(int status);
void Copydot(int  scan);
void Hardcopy(int  left);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void Prt_scr(void);
void Print_item(void);
void Printer(void);
```

ฟังก์ชั่น Printer เป็นฟังก์ชั่นหลักที่จะทำหน้าที่เรียกใช้โปรแกรม

```
void Printer(void)
{  int old_value;
   old_value=Get_time_out(PORT_LPT1);
   Set_time_out(MIN_TIME_OUT,PORT_LPT1);
   Prt_scr();   Set_time_out(old_value,PORT_LPT1);
}
```

ฟังชั่น Copybyte เป็นฟังชั่นที่ใช้ในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์ โดยข้อมูลที่ส่งไปนี้ได้มาจากการตรวจสอบตำแหน่งจุดบนจอภาพ

```
int Copybyte(int byte)
{       unsigned int status;
        char ans;
        status = biosprint(0,byte,0);
        if(status & ERROR_BITS)
        {       Mouse_wait();
                do
                {       Outmsg("พริ้นเตอร์ไม่พร้อม กรุณากดปุ่มใดๆ");
                        delay(500);
                        Outmsg("");
                        delay(500);
                } while(!kbhit()&&Mouse_status()==0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                return 1;
        }
        return 0;
}
```

ฟังชั่น Copydot เป็นฟังชั่นที่ใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งจุดบนจอภาพ โดยจะตรวจสอบครั้งละ 8 จุดจากนั้นจึงส่งข้อมูลที่ได้ไปยังฟังชั่นCopybyte

```
void  Copydot (int scan)
{       int     bits[8] = 128,64,32,16,8,4,2,1;
        int bit, printbyte, maxx, xpix, n1, n2, exit;
maxx=getmaxx()+1;
 do {
        printbyte=0; maxx = maxx--;exit=27;
        for(bit=0;bit<=7;bit++)
        {       if(getpixel(maxx,scan+bit) != 0)
                printbyte = printbyte + bits[bit];
        }
        exit = printbyte;
        if(maxx==0)exit=27;
    } while(exit==0);
    if(printbyte!=0)
    {
        maxx=maxx++;
        n2 = maxx/256;
        n1 = maxx-n2*256;
        /* set 10/180 inch line space */
        Copybyte(27);Copybyte(51);Copybyte(20);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        /* set for print bit imag mode 38 */
        Copybyte(27);Copybyte(42);Copybyte(38);
        Copybyte(n1);Copybyte(n2);
        /*          check   pixel          */
        for(xpix=0;xpix<=maxx;xpix++)
        {       printbyte=0;
                for(bit=0;bit<=7;bit++)
                {       if(getpixel(xpix,scan+bit) != 0)
                        printbyte = printbyte+bits[bit];
                }
                Copybyte(printbyte);
        }
    } /* if */
} /* end*/
```

ฟังชั่น Hardcopyเป็นฟังชั่นที่ใช้ในการควบคุมการตรวจสอบตำแหน่งจุด (pixel) บนจอภาพ โดยจะควบคุมให้ตรวจสอบครั้งละ 8 จุดทางแนวตั้ง

```
void Hardcopy(int left)
{   int scanline;
    Mouse_hide_cursor();
    if(!Copybyte(27))
    {   Copybyte(108);
        Copybyte(left);
        scanline=0;
        do
        {       Copydot(scanline);
                scanline=scanline+8;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            Copybyte(10);
        } while(scanline<getmaxy());
        Copybyte(27);Copybyte(2);
    }
    Mouse_show_cursor();
}
```

ฟังชั่น Prt_scr เป็นฟังขั่นที่ใช้ในการควบคุมรูปแบบในการแสดงผลบนจอภาพก่อนการออกทางเครื่องพิมพ์

```
void Prt_scr(void)
{       if(Save_img(4,29,221,424))
        {       Mouse_hide_cursor();
                clearviewport();
                rectangle(3,20,638,479);  rectangle(3,400,221,479);
                line(3,425,221,425);      line(3,450,221,450);
                Mouse_show_cursor();
                Clear_chart_frame();
                Redraw();
                Print_item();
                Hardcopy(5);
                Display_Main_Menu();
                Clear_chart_frame();
                Redraw();
                Invese_head_menu(0);
                Mouse_img(HAND);
        }   Load_img(4,29);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังชั่น Print_item เป็นฟังชั่นที่ใช้ในการควบคุมรูปแบบในการแสดงผลข้อความบนจอภาพก่อนการพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์

```
void Print_item(void)
{       int row;
Mouse_hide_cursor();   setcolor(WHITE);
Outthaibar(9,RZO,"Zo    =");     Print_unit(212,RZO,OHM);
Outthaibar(9,RZL,"ZL    =");     Print_unit(212,RZL,OHM);
Outthaibar(9,RYL,"YL    =");     Print_unit(212,RYL,MHO);
Outthaibar(9,RZLN,"ZL/Zo =");  Print_unit(212,RZLN,OHM);
Outthaibar(9,RYLN,"YL/Yo =");Print_unit(212,RYLN,MHO);
Outthaibar(9,RFR,"ความถี่ =");
Outthaibar(209,RFR,"Hz");
Outthaibar(9,RWA,"ความยาวคลื่น =");
Outthaibar(209,RWA,"cm");
Outthaibar(9,RVSWR,"VSWR        =");
Outthaibar(9,RSWR,"SWR          =");
Outthaibar(203,RSWR,"dB");
Outthaibar(9,RPM,"Power mismat=");
Outthaibar(203,RPM,"dB");
Outthaibar(9,RPR,"Power Return=");
Outthaibar(203,RPR,"dB");
Outthaibar(9,RG,"Gamma        =");
Outthaibar(9,RGG,"Gamma 2     =");
Mouse_show_cursor();
}
```

จบโปรแกรม CRTPRINT.C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม THAIDRV.C

โปรแกรม THAIDRV.C เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับรับและแสดงผลภาษาไทย โดยภาษาไทยที่ใช้เป็นภาษาไทยที่ใช้รูปแบบตัวอักษรของแฟ้ม THAIENG.FON ซึ่งเป็นแฟ้มที่จัดเก็บรูปแบบตัวของอักษรไว้ ดังนั้นการใช้งานโปรแกรมสมิธชาร์ตจึงจำเป็นต้องมีแฟ้ม THAIENG.FON ด้วยเพื่อใช้ในการแสดงผลภาษาไทย

```
#include"scancode1.h"
```

ประกาศชื่อของฟังก์ชั่นย่อย

```
void Clrascii();
void Clsgr(int x1,int y1,int x2,int y2);
void Outthaibar(int column,int row,char *content);
void Readchr();
void Readfont();
void Readnumber(int column,int row,int count);
int Readstr(int column,int row,int count,struct regein ok,struct
                                                    regein  cancle);
void Set_color(int colors);
void Showchar(int x,int y,unsigned char ASCII);
```

ตัวแปรชนิด GOBAL

```
int color,crtmode;
int short thai=OFF;
unsigned char inputstr[255];
unsigned char font[4080];
unsigned char thaikey[96];
unsigned char ascii,funckey;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Set_color เป็นฟังก์ชั่นสำหรับการกำหนดสีของการแสดงผล

```
void Set_color(int colors)
{       setcolor(colors);color=colors;
        if(crtmode==7) { setcolor(1);color=1;}
        if(crtmode==5) { setcolor(3);color=3;}
}
```

ฟังก์ชั่น Clsgr เป็นฟังก์ชั่นที่ทำหน้าที่ในการลบรูป CURSOR ขณะทำการรับค่าจากคีย์บอร์ด เพื่อให้รูป CURSOR เกิดการกระพริบ

```
void Clsgr(int x1,int y1,int x2,int y2)
{       struct fillsettingstype fillinfo;
        getfillsettings(&fillinfo);
        setfillstyle(0,CYAN); bar(x1,y1,x2,y2);
        setfillstyle(fillinfo.pattern,fillinfo.color);
}
```

ฟังก์ชั่น Readfont เป็นฟังก์ชั่นที่ใช้ในการอ่านลักษณะรูปแบบตัวอักษร ทั้งหมดจากแฟ้ม THAIENG.FON มาไว้ในหน่วยความจำ

```
void Readfont()
{       int file;
file = open("thaieng.fon",1);
read(file,thaikey,96);
read(file,font,4080);
        if(crtmode==7)
                read(file,font,4080);
close(file);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Readchr เป็นฟังก์ชั่นที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับข้อมูลจากคีย์บอร์ดแต่การรับค่าคีย์บอร์ดโดยจากฟังก์ชั่นนี้จะไม่มีการหยุดรอรับคีย์บอร์ด

```
void Readchr()
{       _AH=0;
        geninterrupt(0x16);
        ascii=toascii(_AX);
        funckey=0;
                if(ascii==0) funckey=toascii(_AH);
}
```

ฟังก์ชั่น Showchar ฟังก์นี้จะทำหน้าที่ในการนำตัวอักษรไปทำการแสดงบนจอตามตำแหน่งที่ได้ผ่านค่าพารามิเตอร์มาให้

```
void Showchar(int x,int y,unsigned char ASCII)
{       int k;
Mouse_hide_cursor();
for(k=0;k<=15;k++) {
        if(font[(ASCII-1)*16+k] !=0) {
                if((biosequip()&48)==48)
                        setlinestyle(4,font[(ASCII-1)*16+k]<<7,1);
                        } else {
                        setlinestyle(4,font[(ASCII-1)*16+k],1);
                                line(x,y+k,x+15,y+k);
                                }
                        }
Mouse_show_cursor();
setfillstyle(1,getcolor());
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Outthaibar นำข้อความที่โปรแกรมผ่านค่าพารามิเตอร์มาให้เพื่อไปแสดงผลในตำแหน่งที่กำหนด โดยจะต้องกำหนดตำแหน่งเป็นจุดพิกเซล

```
void Outthaibar(int column,int row,char *contents)
{       int k,ypix,xpix;
        unsigned char asc,num,ASCII;
column=(column-1)*9;
row=(row-1)*22+12;
num=0;
for(k=0;k<strlen(contents);k++) {
        ypix=0;xpix=0;
                if(contents[k]==(char)14) {
                        num=num+82;k++; if(num>82) num=0;
                if(tolower(contents[k])>160)
                        asc=tolower(contents[k]);
                                        } else {
                                        asc=toascii(contents[k]);
                if(tolower(contents[k+1])>160)
                        ASCII=tolower(contents[k+1]);
                else
                        ASCII=toascii(contents[k+1]);
                if((asc>47) & (asc<58)) asc=asc+num;
                        if(ASCII>223) {
                        if(asc==217) {asc=ASCII+14; k++;}
                        if(asc==218) {asc=ASCII+19; k++;}
                        if(asc==219) {asc=ASCII+23; k++;}
                        if(asc==220) {asc=ASCII+27; k++;}
                        if(asc==221) {asc=ASCII+10; k++;}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if(asc==207) {Showchar(column-8,row-16,222); asc=206;}
                if(ASCII==207) {
                        if(asc>223) {
                        Showchar(column-8,row-16,asc+6);
                        asc=206; k++;}
                                }
        if(asc>216) {ypix=-16;xpix=-8;}
        if((asc<217)&(asc>214)) {ypix=8;xpix=-8;}
        Showchar(column+xpix,row+ypix,asc);
        if(asc<215) column+=8;
        }
setlinestyle(SOLID_LINE,0,NORM_WIDTH);
}
```

ฟังก์ชั่น Clrscii เป็นฟังก์ชั่นที่ทำหน้าที่ในการกำหนดรหัสแอสกี้ให้เป็นศูนย์พร้อมกับส่งเสียงเตือน เพื่อให้ผู้ใช้รู้ว่าเกิดการผิดพลาดจะได้แก้ไขได้

```
void Clrascii()
{       int k; ascii=0;
for(k=0;k<=4000;k++) sound(k % 400+400); nosound();
}
```

ฟังก์ชั่น Readstr เป็นฟังก์ชั่นที่ใช้ในการรับค่าตัวอักษรจากคีย์บอร์ด โดยที่เราสามารถที่จะกำหนดตำแหน่งที่จะทำการรับตัวอักษร และกำหนดจำนวนตัวอักษรที่จะรับเข้ามา นอกจากนี้ยังสามารถเลือกรับข้อความเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษได้อีกด้วย

```
int Readstr(column,row,count,ok,cancle)
int column;
int row;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int count;
struct regein ok;
struct regein cancle;
{       int xx,yy,ypix,c;
        int sts,mx,my,tmode;
setcolor(YELLOW);
column=(column-1)*8;
row=(row-1)*16+8;
setfillstyle(1,YELLOW);
if(column<0) column=0;c=0;tmode=0;ypix=8;
do {
        Mouse_wait();
        do{
                sts=0;
                bar(column+1,row+ypix,column+7,row+11);
                delay(100);
                sts=0;
                Clsgr(column+1,row+ypix,column+7,row+11);
                delay(100);
                sts=Mouse_status();
        }while(!kbhit()&&(sts!=1));
        switch(sts){
                        case 0:  Readchr(); break;
                        case 1:  mx=Mouse_x();
                                 my=Mouse_y();
                                 ascii=0;
if((mx>ok.fx)&&(mx<ok.lx)&&(my>ok.fy)&&(my<ok.ly)) {
                        ascii=13;
                        Frame_down(ok.fx,ok.fy,ok.lx,ok.ly);
                        Mouse_wait();
                        Frame_up(ok.fx,ok.fy,ok.lx,ok.ly);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                }
if((mx>cancle.fx)&&(mx<cancle.lx)&&(my>cancle.fy)&&
        (my<cancle.ly)) {
        ascii=27; /* escape */

Frame_down(cancle.fx,cancle.fy,cancle.lx,cancle.ly);
Mouse_wait();
Frame_up(cancle.fx,cancle.fy,cancle.lx,cancle.ly);
                }
if(mx>265&&mx<295&&my>175&&my<200) {
        if(thai==ON) {
                Frame_down(265,175,290,200);
                ascii=96;
                Mouse_wait();
                Frame_up(265,175,290,200);
                        }
        } else ascii=0;
}
                        break;
                case 2:  ascii=27; break;
                }
 if((tmode==1)&(ascii>32)) ascii=thaikey[ascii-32];
 Clsgr(column,row-4,column+7,row+15);
 if(thai==ON) {
        if(ascii==96) {
                        Clrascii();
                        tmode=tmode++;ypix=2;
                        if(tmode==2){tmode=0;ypix=8;}
                        Mouse_hide_cursor();
 switch(tmode){
                case 0 : setfillstyle(1,LIGHTBLUE);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    bar(275,182,282,195);
                    Outthaibar(275,183,"E");
                    break;
                case 1 : setfillstyle(1,LIGHTBLUE);
                    bar(275,182,282,195);
                    Outthaibar(275,183,"T");
                    break;
                }
            setfillstyle(1,YELLOW);
            setcolor(YELLOW);
            Mouse_show_cursor();
            }
        if((ascii==8)&(c!=0)) {
                Mouse_hide_cursor();
            if(tolower(inputstr[c-1])<215)
        {column-=8; Clsgr(column,row-4,column+8,row+15);}
            } else {
                if(inputstr[c-1]>(char)216){
                if(inputstr[c-2]>(char)216)
                Clsgr(column-8,row-16,column,row-4);
                else
                Clsgr(column-8,row-6,column,row+1);
                }
        if(inputstr[c-1]<(char)217)
            Clsgr(column-8,row+12,column,row+17);
            }
            c--; inputstr[c]=(char)32;
            Mouse_show_cursor();
            }
            if(c==0)
            if((ascii>214) | ((ascii>203) & (ascii<208)))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    Clrascii();
                if((ascii>223) & (inputstr[c-1]==(char)207))
                    Clrascii();
                if((ascii>223) & (inputstr[c-1]>(char)223))
                    Clrascii();
            if(((ascii>216)&(ascii<224))&(inputstr[c-1]>(char)217))
                    ascii();
                if(((ascii==207)&((inputstr[c-1]>(char)216)&
                    nputstr[c-1]<(char)224)))
                    Clrascii();
                if((ascii>214)&((inputstr[c-1]>(char)203)&
                    (inputstr[c-1]<(char)214)))
                Clrascii();
            if(((ascii>214)&(ascii<217))&((inputstr[c-1]>(char)214)&
                    (inputstr[c-1]<(char)217)))
                Clrascii();
                if((ascii>31)&(c<count)) {
                    xx=0; yy=0;
                    if(ascii>214) {xx=-8; yy=8;}
                    if(ascii>216) {
                            xx=-8; yy=-16;
                    if(inputstr[c-1]>(char)216) yy=-20;
                                    }
                Showchar(column+xx,row+yy,ascii);
                if(ascii<215) column +=8;
                inputstr[c]=(char)ascii;
                c++; inputstr[c]=(char)32;
                }
            }while(ascii != 13 && ascii != 27);
    inputstr[c]='\x0';
    setlinestyle(0,0,1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(ascii==27)     return 0;
else      return 1;
}
```

จบโปรแกรม THAIDRV.C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม FILE.C

โปรแกรม FILE.C เป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับการเปิดปิดแฟ้มข้อมูล การโหลดแฟ้มข้อมูล และการเก็บแฟ้มข้อมูลลงแผ่นดิสก์

```
#include"scancode1.h"
```

ประกาศชื่อฟังชั่นย่อย

```
void New(void);
void Load(void);
void Save(void);
void Text_box(void);
void File_frame(void);
void Show_file(void);
```

ตัวแปรชนิด GOBAL

```
int short chcolor;
int short bkcolor;
char file_name[13];
FILE *fp;
```

ตัวแปรชนิด EXTERN

```
extern  struct command order[100];
extern  float xx,yy,rr;
extern  float dis_to_ter,frequency,vswr,wave_lenght;
extern  float max_from_load,min_from_load;
extern  float resis,react; extern float chim,zlc,zlr;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
extern   float zinc,zinr; extern int   dx,dy,rad;

extern   int seg;

extern   unsigned char inputstr[255];

extern   int short NORMAL_CL;

extern   int short INVESE_CL;
```

ฟังก์ชั่น New ทำหน้าที่ในการกำหนดค่าเริ่มต้น ให้กับตัวแปรต่างๆ แล้วทำการรีเซ็ทค่าเดิมทั้งหมด

```
void New(void)

{

bkcolor=BLACK;

chcolor=WHITE;

NORMAL_CL=RED;

INVESE_CL=YELLOW;

Write_content();

frequency=100;

wave_lenght=30/100;

chim=50;

zlc=100;

zlr=200;

strcpy(file_name,"noname.smt");

seg=0;rad=180;dy=210;dx=205;

setcolor(BLACK);

setfillstyle(1,CYAN);

bar(500,406,218,423);

Outthaibar(60,408,"1.00+j0.00");

setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    key=bioskey(0);
    else
        {
    mx=Mouse_x();
    my=Mouse_y();
    if((mx>ok.fx)&&(mx<ok.lx)&&(my>ok.fy)&&(my<ok.ly))
        {
    Frame_down(ok.fx,ok.fy,ok.lx,ok.ly); key=RETURN;
    Mouse_wait();
    Frame_up(ok.fx,ok.fy,ok.lx,ok.ly);
        }
    if((mx>cancle.fx)&&(mx<cancle.lx)&&(my>cancle.fy)&&
    (my<cancle.ly))
        {
    Frame_down(cancle.fx,cancle.fy,cancle.lx,cancle.ly); key=ESCAPE;
    Mouse_wait();
    Frame_up(cancle.fx,cancle.fy,cancle.lx,cancle.ly);
        }
    if(mx>295&&mx<478&&my>245&&my<265)
    key=1;
        }
  }while(key==0);
  if(key!=ESCAPE)
  {
  if(key!=RETURN)
  {
    Inverse_row(16,37,60);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
strcpy(file_name,inputstr);
if(Readstr(39,16,21,ok,cancle))
    {
if(inputstr!="")
strcpy(file_name,inputstr); else key=ESCAPE;
    {
if(key!=ESCAPE)
    {
if((fp=fopen(file_name,"w"))==NULL)
Load_img(260,170);
Save_img(260,170,600,300);
Text_box();    setfillstyle(1,LIGHTGRAY);    bar(280,225,500,280);
setcolor(BLACK);
Outthaibar(300,255,"ไม่สามารถจัดเก็บแฟ้มข้อมูลนี้ได้");
Frame_down(280,225,500,280);    printf("%c",'7');    sts=Readkey();
if(sts==1)
    {
mx=Mouse_x();
my=Mouse_y();
if((mx>ok.fx)&&(mx<ok.lx)&&(my>ok.fy)&&(my<ok.ly))
    {
Fame_down(ok.fx,ok.fy,ok.lx,ok.ly);
Mouse_wait();
Frame_up(ok.fx,ok.fy,ok.lx,ok.ly);
    }
if((mx>cancle.fx)&&(mx<cancle.lx)&&(my>cancle.fy)&&(my<can
cle.ly))
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    {
Frame_down(cancle.fx,cancle.fy,cancle.lx,cancle.ly);
Mouse_wait();
Frame_up(cancle.fx,cancle.fy,cancle.lx,cancle.ly);
    }
else
    {
fputs("#SmItH-ChArT",fp);
fprintf(fp,"%d",seg);
for(i=0;i<=seg;i++)
    {
fprintf(fp,"%d ",order[i].comm);
fprintf(fp,"%f ",order[i].x1);
fprintf(fp,"%f ",order[i].x2);
fprintf(fp,"%f ",order[i].y1);
fprintf(fp,"%f ",order[i].y2);
fprintf(fp,"%f ",order[i].stang);
fprintf(fp,"%f ",order[i].edang);
fprintf(fp,"%f",order[i].radial);
    }
            fprintf(fp,"%d %d",bkcolor,chcolor);
            fprintf(fp,"%d %d",NORMAL_CL,INVESE_CL);
            fprintf(fp,"%f %f %f",xx,yy,rr);
            fprintf(fp,"%f %f %f",frequency,vswr,wave_lenght);
            printf(fp,"%f %f %f",resis,react);
            fprintf(fp,"%f %f %f",chim,zlc,zlr);
            setcolor(WHITE);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
fclose(fp);
}
Load_img(260,170);
]
```

ฟังก์ชั่น Load ทำหน้าที่ในการนำค่าตัวแปรต่างจากแผ่นดิสก์ มาเก็บไว้ในหน่วยความจำเพื่อที่จะทำงานต่อไป

```
void Load(void)
{   int i,key=0,mx,my,sts,chk;
    struct regein ok,cancle;
    ok.fx=cancle.fx=525;
    ok.lx=cancle.lx=585;
    ok.fy=147;ok.ly=167;
    cancle.fy=177;cancle.ly=197;
Save_img(260,100,600,400);
File_frame();
Show_file();
setcolor(BLACK);
Outthaibar(350,118,"ใส่ชื่อแฟ้มข้อมูล");
do{
    Mouse_wait();
    sts=Readkey();
    if(sts==0)
    key=bioskey(0);
    else
        {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    mx=Mouse_x();
    my=Mouse_y();
    if((mx>ok.fx)&&(mx<ok.lx)&&(my>ok.fy)&&(my<ok.ly))
        {
    Frame_down(ok.fx,ok.fy,ok.lx,ok.ly); key=RETURN;
    Mouse_wait();
    Frame_up(ok.fx,ok.fy,ok.lx,ok.ly);
        }
    if((mx>cancle.fx)&&(mx<cancle.lx)&&(my>cancle.fy)&&(my<can
    cle.ly))
        {
    Frame_down(cancle.fx,cancle.fy,cancle.lx,cancle.ly); key=ESCAPE;
    Mouse_wait();
    Frame_up(cancle.fx,cancle.fy,cancle.lx,cancle.ly);
        }
    if(mx>272&&mx<597&&my>145&&my<169) key=1;
}
}while(key==0);
if(key!=ESCAPE)
{
if(key!=RETURN)
{
Inverse_row(10,34,62);
if(Readstr(36,10,26,ok,cancle))
{
if(inputstr!="")
strcpy(file_name,inputstr);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
else key=ESCAPE;
}
if(key!=ESCAPE)
{
if((fp=fopen(file_name,"r+"))==NULL)
{
Outthaibar(351,280,"ไม่สามารถเปิดแฟ้มข้อมูลนี้ได้");
printf("%c",'7');
Readkey();
}
else
{
chk=strcmpc(fget(inputstr,13,fp),"SmItH-ChArT");
if(chk==0)
{
fscanf(fp,"%d",&seg);
for(i=0;i<=seg;i++)
{
fscanf(fp,"%d",&order[i].comm);
fscanf(fp,"%f",&order[i].x1);
fscanf(fp,"%f",&order[i].x2);
fscanf(fp,"%f",&order[i].y1);
fscanf(fp,"%f",&order[i].y2);
fscanf(fp,"%f",&order[i].stang);
fscanf(fp,"%f",&order[i].edang);
fscanf(fp,"%f",&order[i].radial);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        fscanf(fp,"%d %d",&bkcolor,&chcolor);
        fscanf(fp,"%d %d",&NORMAL_CL,&INVESE_CL);
        fscanf(fp,"%f %f %f",&xx,&yy,&rr);
        fscanf(fp,"%f %f %f",&frequency,&vswr,&wave_lenght);
        fscanf(fp,"%f %f %f",&resis,&react);
        fscanf(fp,"%f %f %f",&chim,&zlc,&zlr);
}
else
{
Outthaibar(351,280,"ไม่สามารถเปิดแฟ้มข้อมูลนี้ได้"); getch();
}
fclose(fp);
}
Load_img(260,100);
if(key!=ESCAPE)
{
Start_dialog();
Clear_chart_frame();
Redraw();
setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
setcolor(BLACK);
Frame_down(100,430,219,448);
Outthaibar(105,435,file_name);
setcolor(WHITE);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่น Text เป็นฟังก์ชั่นที่ใช้ในการสร้างกรอบข้อความ เพื่อใช้ในการใส่ค่าต่างๆในโปรแกรมเช่น การโหลดแฟ้มข้อมูล การจัดเก็บแฟ้มข้อมูล เป็นต้น

```
void Text_box(void)
{
setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
Mouse_hide_cursor();
bar(260,170,600,300);
Frame_up(260,170,600,300);
Frame_up(525,220,585,240);
Frame_up(525,260,585,280);
setfillstyle(1,LIGHTBLUE);
bar(265,175,595,200);
Frame_up(265,175,290,200);
setcolor(BLACK);
rectangle(265,205,595,295);
Mouse_show_cursor();
Outthaibar(540,225,"ตกลง");
Outthaibar(537,265,"ยกเลิก");
setcolor(WHITE);
Outthaibar(275,183,"E");
}
```

ฟังก์ชั่น Show_file เป็นฟังก์ชั่นที่ใช้ในการแสดงชื่อแฟ้มข้อมูล จะฟังชั่นนี้ในกรณีที่มีการเปิดแฟ้มข้อมูลเก่า หรือมีการจัดเก็บแฟ้มข้อมูล

```
void Show_file(void)
{   int count=0,done,i;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    struct ffblk ffblk;
    char far *dta;
    char far *oldpath;
    char name[13][100];
    oldpath=NULL;
dta=getdta();
getcurdir(0,oldpath);
done=findfirst("*.smt",&ffblk,0xff);
while(!done)
{
strcpy(name[count],ffblk.ff_name);
done=findnext(&ffblk);
count++;
}
if(count!=0)
{
setcolor(BLACK);
for(i=0;i<count;i++)
outtextxy(280,190+(i*20),name[i]);
setcolor(WHITE);
setdta(dta);
chdir(oldpath);
}
```

ฟังก์ชั่น File_frame เป็นฟังก์ชั่นที่ใช้ในการสร้างกรอบที่จะใช้ในการแสดงรายชื่อแฟ้มข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void File_frame(void)
{       int x1=260,y1=100,x2=600,y2=400;
Mouse_hide_cursor();
setfillstyle(1,LIGHTGRAY);
bar(x1,y1,x2,y2);
setfillstyle(1,LIGHTBLUE);
bar(x1+10,y1+10,x2-10,y1+35);
Mouse_show_cursor();
Frame_up(x1,y1,x2,y2);
Frame_down(x1+12,y1+45,x2-103,y1+69);
Frame_down(x1+10,y1+80,x2-100,y2-10);
Frame_up(x1+10,y1+10,x1+35,y1+35);
Frame_up(525,147,585,167);
Frame_up(525,177,585,197);
Frame_up(525,207,585,227);
Frame_up(525,237,585,257);
setcolor(BLACK);
Outthaibar(540,152,"ตกลง");
Outthaibar(537,182,"ยกเลิก");
sprintf(inputstr,"%c",24);
Outthaibar(550,212,inputstr);
sprintf(inputstr,"%c",25);
Outthaibar(550,242,inputstr);
Outthaibar(280,117,"E");
setcolor(WHITE);
}
```

จบโปรแกรม FILE.C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ASCII มาตรฐาน

DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR
0	0	Ctrl-@	26	1A	Ctrl-Z	52	34	4
1	1	Ctrl-A	27	1B	Esc	53	35	5
2	2	Ctrl-B	28	1C	Ctrl-\	54	36	6
3	3	Ctrl-C	29	1D	Ctrl-]	55	37	7
4	4	Ctrl-D	30	1E	Ctrl-^	56	38	8
5	5	Ctrl-E	31	1F	Ctrl-_	57	39	9
6	6	Ctrl-F	32	20	SPACEBAR	58	3A	:
7	7	Ctrl-G	33	21	!	59	3B	;
8	8	Ctrl-H	34	22	"	60	3C	<
9	9	Ctrl-I	35	23	#	61	3D	=
10	A	CtrlJ-J	36	24	$	62	3E	>
11	B	Ctrl-K	37	25	%	63	3F	?
12	C	Ctrl-L	38	26	&	64	40	@
13	D	Ctrl-M	39	27	'	65	41	A
14	E	Ctrl-N	40	28	(	66	42	B
15	F	Ctrl-O	41	29	)	67	43	C
16	10	Ctrl-P	42	2A	*	68	44	D
17	11	Ctrl-Q	43	2B	+	69	45	E
18	12	Ctrl-R	44	2C	,	70	46	F
19	13	Ctrl-S	45	2D	-	71	47	G
20	14	Ctrl-T	46	2E	.	72	48	H
21	15	Ctrl-U	47	2F	/	73	49	I
22	16	Ctrl-V	48	30	0	74	4A	J
23	17	Ctrl-W	49	31	1	75	4B	K
24	18	Ctrl-X	50	32	2	76	4C	L
25	19	Ctrl-Y	51	33	3	77	4D	M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ASCII มาตรฐาน (ต่อ)

DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR
78	4E	N	95	5F	_	112	70	p
79	4F	O	96	60	`	113	71	q
80	50	P	97	61	a	114	72	r
81	51	Q	98	62	b	115	73	s
82	52	R	99	63	c	116	74	t
83	53	S	100	64	d	117	75	u
84	54	T	101	65	e	118	76	v
85	55	U	102	66	f	119	77	w
86	56	V	103	67	g	120	78	x
87	57	W	104	68	h	121	79	y
88	58	X	105	69	i	122	7A	z
89	59	Y	106	6A	j	123	7B	{
90	5A	Z	107	6B	k	124	7C	|
91	5B	[	108	6C	l	125	7D	}
92	5C	\	109	6D	m	126	7E	~
93	5D	]	110	6E	n	127	7F	DEL
94	5E	^	111	6F	o			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ASCII ส่วนขยาย (Extended ASCII Code)

DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR
128	80	«	154	9A	Ü	180	B4	┤
129	81	»	155	9B	¢	181	B5	╡
130	82	é	156	9C	£	182	B6	╢
131	83	â	157	9D	¥	183	B7	╖
132	84	ä	158	9E	₧	184	B8	╕
133	85	à	159	9F	ƒ	185	B9	╣
134	86	å	160	A0		186	BA	║
135	87	ç	161	A1	í	187	BB	╗
136	88	ê	162	A2	ó	188	BC	╝
137	89	ë	163	A3	ú	189	BD	╜
138	8A	è	164	A4	ñ	190	BE	╛
139	8B	ï	165	A5	Ñ	191	BF	┐
140	8C	î	166	A6	ª	192	C0	└
141	8D	ì	167	A7	º	193	C1	┴
142	8E	Ä	168	A8	¿	194	C2	┬
143	8F	Å	169	A9	⌐	195	C3	├
144	90	É	170	AA	¬	196	C4	─
145	91	æ	171	AB	½	197	C5	┼
146	92	Æ	172	AC	¼	198	C6	╞
147	93	ô	173	AD	¡	199	C7	╟
148	94	ö	174	AE	«	200	C8	╚
149	95	ò	175	AF	»	201	C9	╔
150	96	û	176	B0	░	202	CA	╩
151	97	ù	177	B1	▒	203	CB	╦
152	98	ÿ	178	B2	▓	204	CC	╠
153	99	Ö	179	B3	│	205	CD	═

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ASCII ขยาย (ต่อ)

DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR	DEC	HEX	CHAR
206	CE	╬	225	E1	ß	244	F4	⌠
207	CF	╧	226	E2	Γ	245	F5	⌡
208	D0	╨	227	E3	π	246	F6	÷
209	D1	╤	228	E4	Σ	247	F7	≈
210	D2	╥	229	E5	σ	248	F8	°
211	D3	╙	230	E6	µ	249	F9	∙
212	D4	╘	231	E7	τ	250	FA	·
213	D5	╒	232	E8	Φ	251	FB	√
214	D6	╓	233	E9	Θ	252	FC	n
215	D7	╫	234	EA	Ω	253	FD	2
216	D8	╪	235	EB	δ	254	FE	■
217	D9	┘	236	EC	∞	255	FF	□
218	DA	┌	237	ED	ø			
219	DB	▉	238	EE	ε			
220	DC	▌	239	EF	∩			
221	DD	▐	240	F0	≡			
222	DE	▊	241	F1	±			
223	DF	α	242	F2	≥			
224	E0	ß	243	F3	≤			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางค่าคีย์บอร์ด

KEY	NORMAL	SHIFT	ControlAlt	
Esc	**011B**	**011B**	**011B**	
1!	0231	0221	7800	
2@	0332	0340	0300	7900
3#	0433	0423	7A00	
4$	0534	0524	7B00	
5%	0635	0625	7C00	
6^	0736	075E	071E	7D00
7&	0837	0826	7E00	
8*	0938	092A	7F00	
9(	0A39	0A28	8000	
0)	0B30	0B29	8100	
-_	0C2D	0C5F	0C1F	8200
=+	0D3D	0D2B	8300	
Bksp	0E08	0E08	0E7F	
Tap	0F09	0F00		
qQ	1071	1051	1011	1000
wW	1177	1157	1117	1100
eE	1265	1245	1205	1200
rR	1372	1352	1312	1300
tT	1474	1454	1414	1400
yY	1579	1559	1519	1500
uU	1675	1655	1615	1600
iI	1769	1749	1709	1700
oO	186F	184F	180F	1800
pP	1970	1950	1910	1900
[{	1A5B	1A7B	1A1B	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางค่าคีย์บอร์ด (ต่อ)

KEY	NORMAL	SHIFT	ControlAlt	
]}	1B5D	1B7D	1B1D	
ENTER	1C0D	1C0D	1C0A	
Crtl				
aA	1E61	1E41	1E01	1E00
sS	1F73	1F53	1F13	1F00
dD	2064	2044	2004	2000
fF	2166	2164	2106	2100
gG	2267	2247	2207	2200
hH	2368	2348	2308	2300
jJ	246A	244A	240A	2400
kK	256B	254B	250B	2500
lL	266C	264C	260C	2600
:;	273B	273A		
‘“	2827	2822		
	2960	297		
Lshift				
|	2B5C	2B7C	2B1C	
zZ	2C7A	2C5A	2C1A	2C00
xX	2D78	2D58	2D18	2D00
cC	2E63	2E43	2E03	2E00
vV	2F76	2F56	2F16	2F00
bB	3062	3042	3002	3000
nN	316E	314E	310E	3100
mM	326D	324D	320D	3200
,<	332C	333C		
.>	342E	343E		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางค่าคีย์บอร์ด (ต่อ)

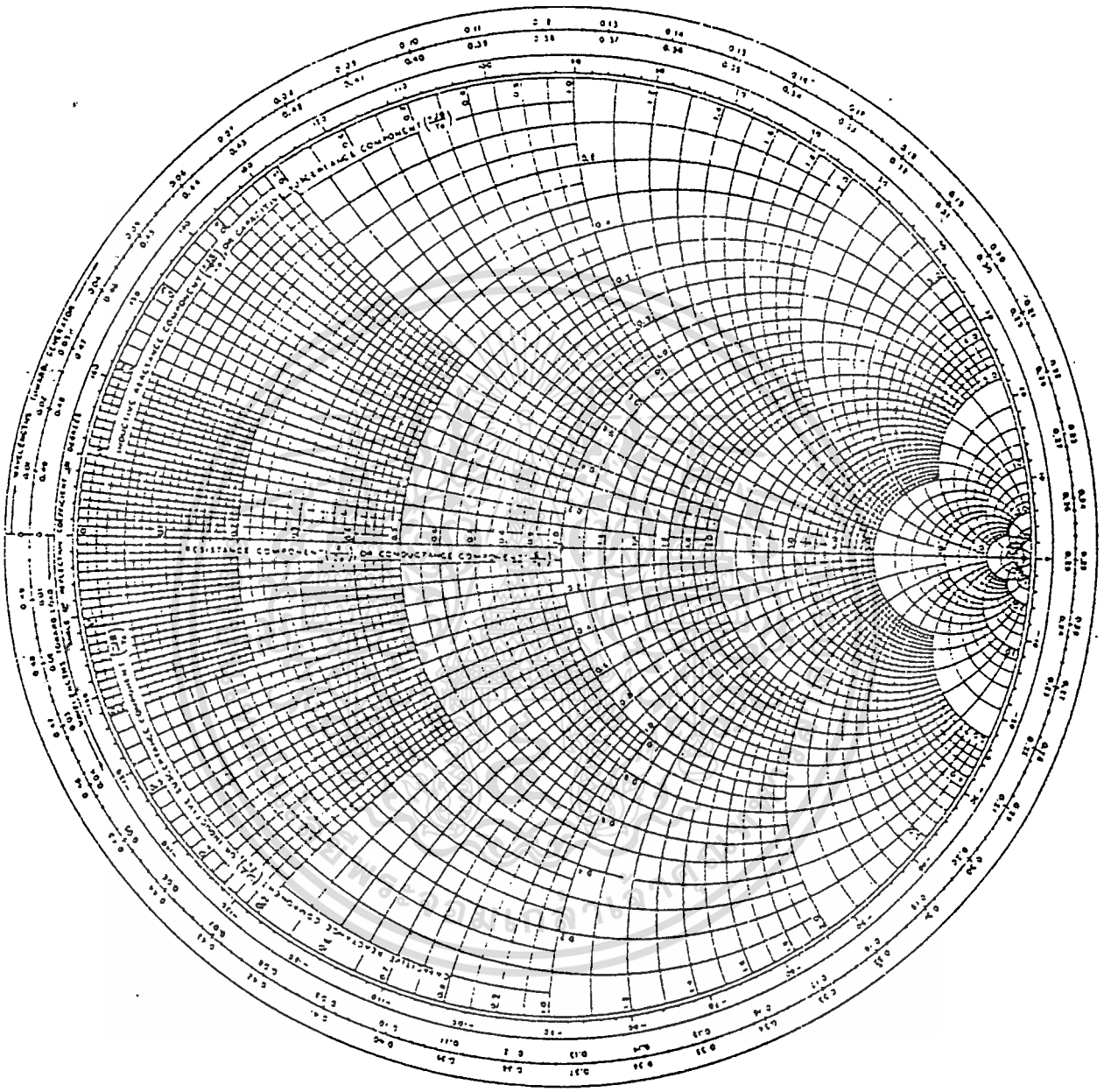
KEY	NORMAL	SHIFT	ControlAlt	
/	352F	353F		
Rshift				
PrtSc	372A	7200		
Alt				
Space	3920	3920	3920	3920
CapsL				
F1	3B00	5400	5E00	6800
F2	3C00	5500	5F00	6900
F3	3D00	5600	6000	6A00
F4	3E00	5700	6100	6B00
F5	3F00	5800	6200	6C00
F6	4000	5900	6300	6D00
F7	4100	5A00	6400	6E00
F8	4200	5B00	6500	6F00
F9	4300	5C00	6600	7000
F10	4400	5D00	6700	7100
F11	8500	8700	8900	8B00
F12	8600	8800	8A00	8C00
NumLock				
Scroll				
7 Home	4700	4737	7700	
8 Up	4800	4838		
9 PgUp	4900	4939	8400	
Grey -	4A2D	4A2D		
4 Left	4B00	4B43	7300	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางค่าคีย์บอร์ด (ต่อ)

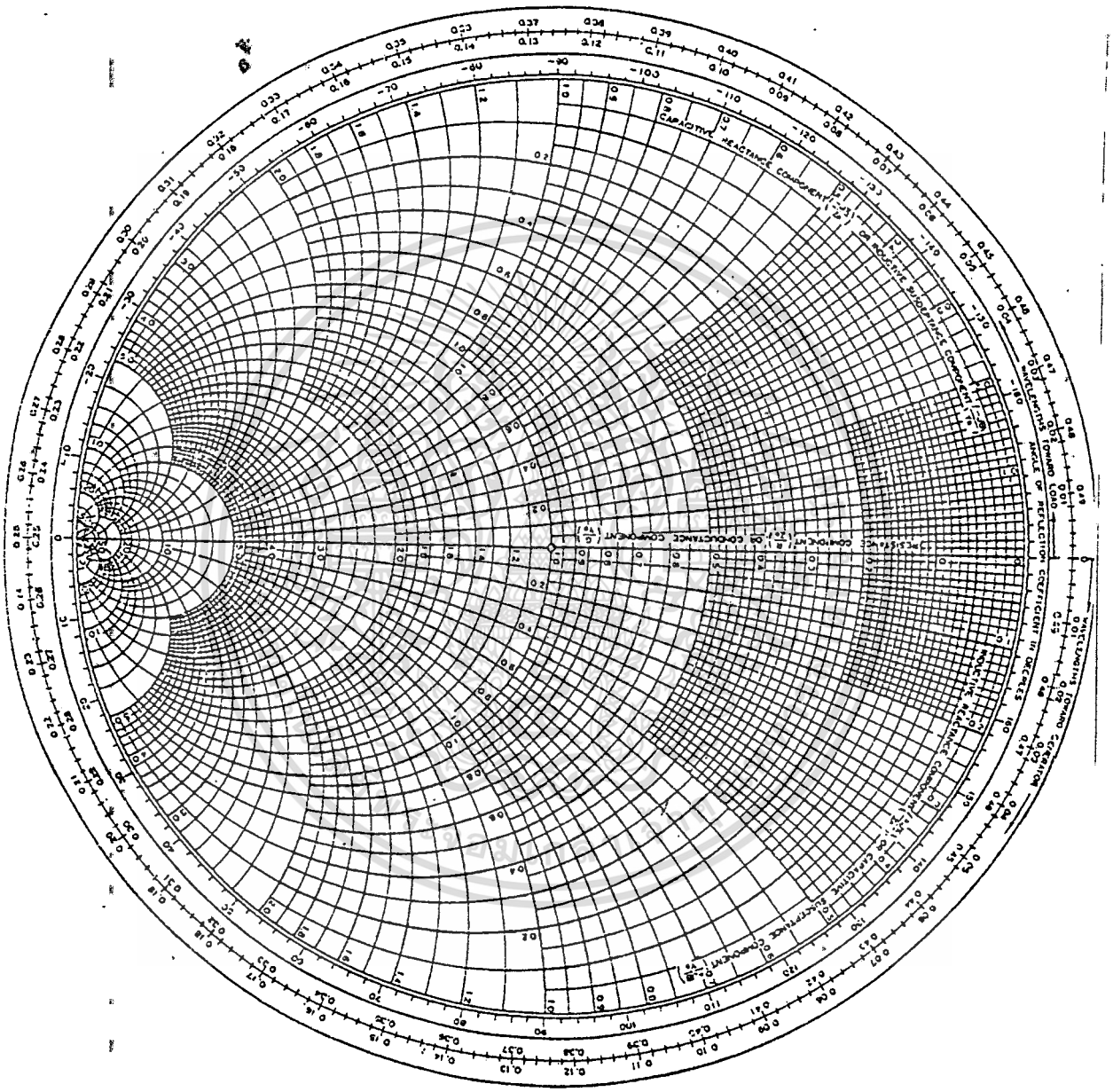
KEY	NORMAL	SHIFT	ControlAlt
5	4C35		
6 Right	4D00	4D36	7400
Grey +	4E2B	4E2B	
1 End	4F00	4F31	7500
2 Down	5000	5032	
3 PgDn	5100	5133	
Ins	5200	5230	
Del	5300	532E	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



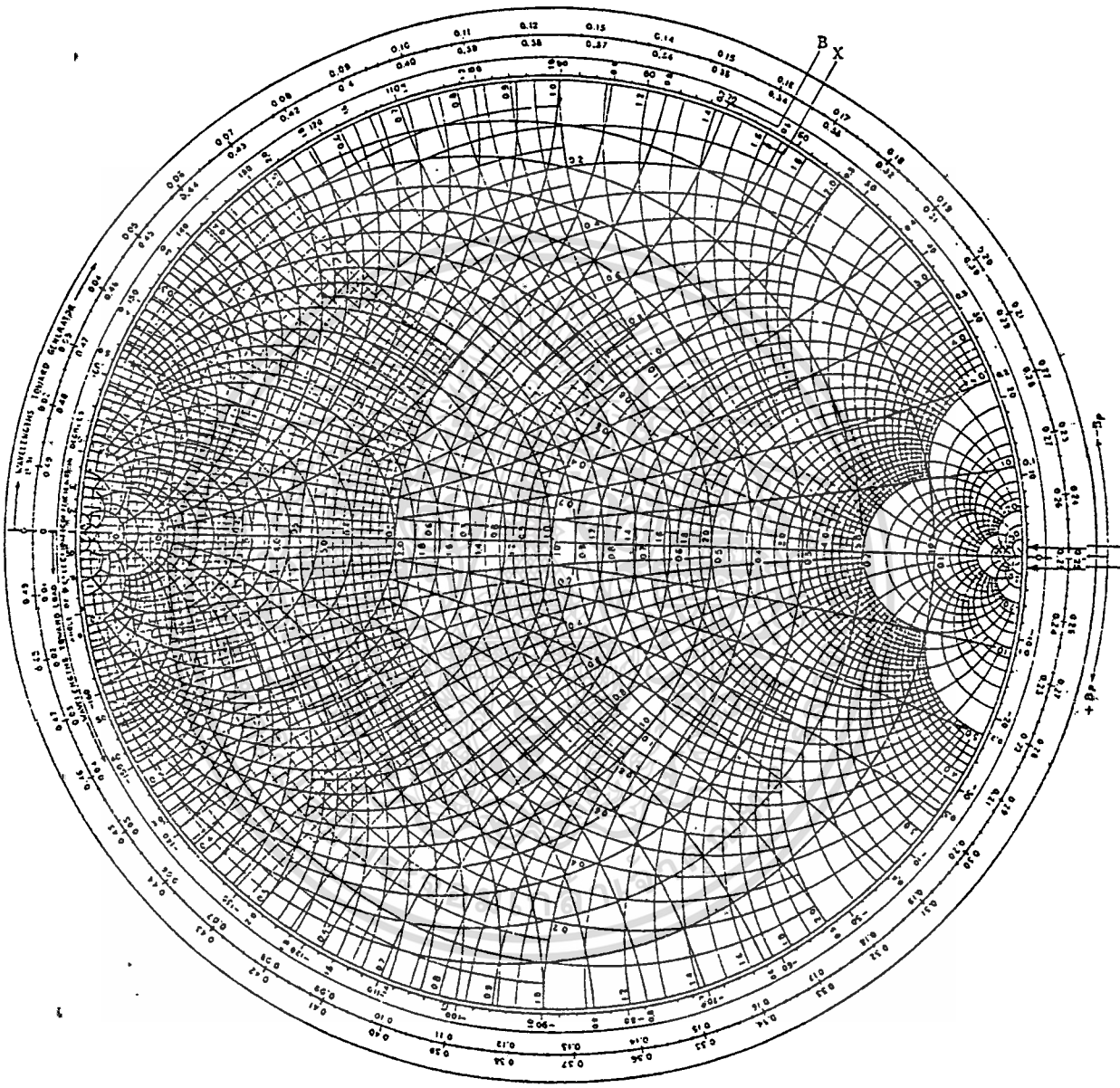
อิมพีแดนซ์สมิทชาร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แอดมิตแตนซ์สมิทชาร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อิมมิตแตนซ์สมิทชาร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

บัณฑิต โรจน์อารยานนท์, วิศวกรรมไมโครเวฟ, พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536

พงษ์ระพี เตชพาทพงษ์, แอดวานซ์เอ็มเอสดอส, พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2521

พิชัย ภักดีพานิชย์เจริญ, ทฤษฎี และการใช้งานความถี่ย่านไมโครเวฟ, พิมพ์ครั้ง1 กรุงเทพ ฯ, สำนักพิมพ์ ฟิสิกเซ็นเตอร์, 2529

มงคล อัสวโกวิทกรณ์, การเขียนโปรแกรมกราฟิคส์, พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ, บริษัท ควงกมลสมัย จำกัด, 2530

ธันวา ศรีประโมง, การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2521

Borland International., Inc., " Turbo C User's Guide. ", Borland International., Inc., 1987

Steven Harrington., "COMPUTER GRAPHIC.", Second Edition., Mc Graw-Hill Book Company, 1982

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า