

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดทดลองสายอากาศและสายนำสัญญาณ

ANTENNA AND TRANSMISSION LINE DEMONSTRATOR



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 86723  
วัน,เดือน,ปี 14 ส.ค. 2552

b.....  
i.....

ปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ชุททดลองสายอากาศและสายนำสัญญาณ

(ANTENNA AND TRANSMISSION LINE DEMONSTRATOR)

โดย นายชัยชนะ ชาติระรักษ์ 39012047

นายดิเรก หมานมานะ 39012048

นายวราเชษฐ์ พรหมประสิทธิ์ 39012062

ภาควิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.กนก เจนจิระพงษ์เวช

อ.จักรี ทิมภักย์วิศิษฐ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรม  
ศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... อ.ที่ปรึกษา

(.....)

..... กรรมการ

(.....)

..... กรรมการ

(.....)

..... กรรมการ

(.....)

..... กรรมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ชุดทดลองสายอากาศและสายนำสัญญาณ  
นักศึกษา นายชัยชนะ ชาติระรักษ์ 39012047  
นายดิเรก หมานมานะ 39012048  
นายวร่าเชษฐ พรหมประสิทธิ์ 39012062  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช  
อ.จักรี ทีฆภาคย์วิศิษฐ์  
ระดับการศึกษา ปริญญาตรีอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต  
ปีการศึกษา 2540

**บทคัดย่อ**

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ได้เสนอวิธีการออกแบบขอร์ทสลับแบบขนาน โดยใช้สมิทชาร์ตเพื่อใช้ในการปรับ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศและอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่แตกต่างกันให้แมทชิ่งกัน โครงงานนี้ประกอบด้วยชุดทดลองซึ่งใช้ความถี่สูงย่าน ยู เอช เอฟ และชุดสาธิตสายอากาศจริงซึ่งใช้ความถี่ย่าน วี เอช เอฟ นอกจากนี้ได้เขียนโปรแกรมในการหาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่าง ๆ ของสายนำสัญญาณด้วยโปรแกรม วิศวลเบสิก

การทดสอบต้องการให้ทางด้านส่งเกิดอัตราส่วนคลื่นนิ่งน้อยที่สุด โดยใช้ วี เอช ดับบลิว อาร์ มิเตอร์ เป็นตัววัดคลื่นนิ่ง และทำให้ทางด้านรับสามารถรับสัญญาณได้สูงสุดโดยใช้เครื่องวัดความแรงสัญญาณ เพื่อดูรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

**PROJECT** ANTENNA AND TRANSMISSION LINE DEMONSTRATOR

**NAME** MR.CHAICHANA CHATARAK 39012047  
MR.DIREAK MANMANA 39012048  
MR.WARACHAT PROMPRASIT 39012062

**ADVISOR** DR.KANOK JANCHIRAPONGVEJ  
MR.CHAKKREE TEAKAPAKVISIT

**LEVEL OF STUDY** BACHELOR'S DEGREE IN INDUSTRIAL  
(TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY)

**ACADEMIC** YEAR 1997

**ABSTRACT**

This project describes the method of design parallel short stub by using smith chart for adjusting the matching impedance of the antenna and transmission line. This project consist of two demonstrators used in high frequency UHF and VHF band. Visual Basic Programming for determination various necessary parameters of transmission line are utilized.

Experimental results shown that with minimum standing wave ratio at the transmitter side will tend to obtain the maximum signal at the output of the receiver and the pattern of the signal radiation can be plotted by means of field strength meter.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการและปริญญานิพนธ์ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เกิดจากความร่วมมือร่วมใจของคณะผู้จัดทำ โดยได้รับความช่วยเหลือทางด้านคำแนะนำต่างๆ เป็นอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์อีกหลายท่านในภาคเทคนิคอุตสาหกรรม ที่ได้ให้ความเอื้อเฟื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ และขอขอบคุณ นอท.วิโรจน์ แก้วจันทร์ หัวหน้าแผนกไฟฟ้า - อิเล็กทรอนิกส์ โรงเรียนฝีมือช่างทหาร ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านคำแนะนำ รวมทั้งเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการสาธิตเกี่ยวกับโครงการนี้ อีกทั้งต้องขอขอบคุณเพื่อน ๆ 2M ทุก ๆ คน ที่ช่วยเหลือในหลาย ๆ ด้าน

สุดท้ายต้องขอขอบคุณอาจารย์ทุกคนที่ช่วยประสาทวิชาให้ความรู้ต่าง ๆ จนสามารถทำโครงการนี้ขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญ

สารบัญรูป

สารบัญตาราง

บทที่ 1 บทนำ

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 1.1 แนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์   | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์ | 1 |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ       | 2 |
| 1.4 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์          | 2 |

บทที่ 2 ทฤษฎี

- |  |    |
|--|----|
| 2.1 สายนำสัญญาณ  | 3  |
| 2.2 การสะท้อนกลับในสายนำสัญญาณที่ต่ออยู่กับโหลด                                  | 7  |
| 2.3 การหากราฟคุณลักษณะแสดงอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายสัญญาณซึ่งต่อปลายแบบเปิดหรือเปิด | 10 |
| 2.4 สายอากาศ   | 13 |
| 2.5 การเมททิงระหว่างสายนำสัญญาณกับ โหลด โดยใช้สตัป                               | 25 |
| 2.6 ทฤษฎีและโครงสร้างฮาร์ดแวร์ของชุดทดลอง  | 27 |
| 2.7 ทฤษฎีและโครงสร้างฮาร์ดแวร์ของชุดใช้งานจริง                                   | 31 |
| 2.8 การคำนวณหาค่าตำแหน่งและความยาวของสตัปโดยโปรแกรม Z-MATCH                      | 36 |

บทที่ 3 การทดสอบสายอากาศและสายนำสัญญาณ

- |  |    |
|--|----|
| 3.1 การวัดวีเอสดีบลิวอาร์ของชุดทดลอง                                   | 57 |
| 3.2 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของชุดทดลอง                          | 64 |
| 3.3 การวัดวีเอสดีบลิวอาร์ของชุดสาธิตความถี่ย่านวีเอสเอฟ                | 83 |
| 3.4 แสดงการทดสอบสายอากาศยาคี 415 เมกกะเฮิร์ตขณะที่ไม่ใช่สตัปและใส่สตัป | 84 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
บทที่ 4 การออกแบบและใช้งานโปรแกรม	
4.1 บทนำ	87
4.2 ระบบที่จำเป็นในการใช้งานโปรแกรมวิซวลเบสิก	87
4.3 การออกแบบโปรแกรม	87
ผลการทดสอบโปรแกรม	89
บทสรุปและวิจารณ์	101
ภาคผนวก	102
หนังสืออ้างอิง	126



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 สายนำสัญญาณชนิดต่าง ๆ	3
รูปที่ 2.2 แสดงสายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน	4
รูปที่ 2.3 แสดงสายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียล	5
รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณ	6
รูปที่ 2.5 แสดงวงจรของการเกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณ	7
รูปที่ 2.6 แสดงการต่อสายนำสัญญาณเข้ากับโหลด	10
รูปที่ 2.7 แสดงค่าความยาวที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของสายนำสัญญาณ	10
รูปที่ 2.8 การกระจายของคลื่นแรงดันและกระแสบนสายนำสัญญาณต่อปลายแบบเปิด	11
การกระจายของอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณต่อแบบปลายเปิด	
รูปที่ 2.9 การกระจายคลื่นและกระแสบนสายนำสัญญาณต่อปลายแบบปิด	12
การกระจายของอิมพีแดนซ์บนสายนำสัญญาณต่อปลายแบบปิด	
รูปที่ 2.10 แสดงการกระจายแรงดันและกระแสบนสายนำสัญญาณยาว $\frac{\lambda}{4}$ ซึ่งมีโหลดเป็น	14
วงจรเปิด	
รูปที่ 2.11 ไดโพลชนิดฮาร์ฟเวฟ	14
รูปที่ 2.12 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดรอบ ๆ ฮาร์ฟเวฟ	15
รูปที่ 2.13 โพลาริเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	16
รูปที่ 2.14 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศฮาร์ฟเวฟไดโพล	17
รูปที่ 2.15 การวัดความกว้างลำคลื่นในรูปแบบการแพร่คลื่น	18
รูปที่ 2.16 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศฮาร์ฟเวฟไดโพลวางตัวในแนวราบ	20
รูปที่ 2.17 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศฮาร์ฟเวฟไดโพลวางในแนวตั้ง	21
รูปที่ 2.18 แสดงสายอากาศฟูลเวฟไดโพล	21
รูปที่ 2.19 สายอากาศไดโพลชนิด $1-\lambda$	22
รูปที่ 2.20 สายอากาศชนิดฮาร์ฟเวฟไดโพลต่อเรียงกับตัวพาราซิติกเป็นอาร์เรย์	23
รูปที่ 2.21 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศยาคิแบบ 3 อิลิเมนต์	24
รูปที่ 2.22 สายอากาศยาคิแบบ 6 อิลิเมนต์ ความถี่ใช้งาน 440 เมกะเฮิร์ต	25
รูปที่ 2.23 สตัมที่ใช้ในการแมทชิง	26
รูปที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรมของชุดทดลอง	27

	หน้า
รูปที่ 2.25 แสดงแผงด้านหน้าของชุดทดลอง	27
รูปที่ 2.26 แสดงด้านหลังของชุดทดลอง	28
รูปที่ 2.27 แสดงวงจรเครื่องส่งยูเอชเอฟ	28
รูปที่ 2.28 วงจรวีเอสดับเบิลวอาร์ทมิเตอร์	30
รูปที่ 2.29 วงจรฟิลด์สเตรนทมิเตอร์	31
รูปที่ 2.30 แสดงโครงสร้างทั้งหมดของชุดที่ใช้งานจริง	31
รูปที่ 2.31 วงจรสมบรูณ์ของวีเอสดับเบิลวอาร์ทมิเตอร์สำหรับความถี่ 145 เมกะเฮิร์ต	34
รูปที่ 2.32 วงจรสมบรูณ์ของเครื่องวัดความแรงคลื่นวิทยุย่านความถี่ 144-146 เมกะเฮิร์ต	36
รูปที่ 2.33 สมบัติชาร์ตแสดงตำแหน่งสลับของสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์	38
รูปที่ 2.34 สมบัติชาร์ตแสดงความยาวสลับของสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์	39
รูปที่ 2.35 แสดงเงินเนอรัล แลคเคอร์ เน็ทเวิร์ค ของสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์	40
รูปที่ 2.36 สมบัติชาร์ตแสดงตำแหน่งสลับของสายอากาศฮอร์ซอนคัลไดโพล	42
รูปที่ 2.37 สมบัติชาร์ตแสดงความยาวสลับของสายอากาศฮอร์ซอนคัลไดโพล	43
รูปที่ 2.38 แสดงเงินเนอรัล แลคเคอร์ เน็ทเวิร์ค ของสายอากาศฮอร์ซอนคัลไดโพล	44
รูปที่ 2.39 สมบัติชาร์ตแสดงตำแหน่งสลับของสายอากาศ $\frac{5}{8}\lambda$	46
รูปที่ 2.40 สมบัติชาร์ตแสดงความยาวสลับของสายอากาศ $\frac{5}{8}\lambda$	47
รูปที่ 2.41 แสดงเงินเนอรัล แลคเคอร์ เน็ทเวิร์คของสายอากาศ $\frac{5}{8}\lambda$	48
รูปที่ 2.42 สมบัติชาร์ตแสดงตำแหน่งสลับของสายอากาศยาคี 400C-12 Y9DN/T	50
รูปที่ 2.43 สมบัติชาร์ตแสดงความยาวสลับของสายอากาศยาคี 400C-12 Y9DN/T	51
รูปที่ 2.44 แสดงเงินเนอรัล แลคเคอร์ เน็ทเวิร์ค ของสายยาคี 400C-12 Y9DN/T	52
รูปที่ 2.45 สมบัติชาร์ตแสดงตำแหน่งสลับของสายอากาศรับเบอร์คัลค	54
รูปที่ 2.46 สมบัติชาร์ตแสดงความยาวสลับของสายอากาศ รับเบอร์คัลค	55
รูปที่ 2.47 แสดงเงินเนอรัลแลคเคอร์เน็ทเวิร์คของสายอากาศรับเบอร์คัลค	56
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการวัดวีเอสดับเบิลวอาร์ทมิเตอร์	57
รูปที่ 3.2 แสดงกราฟกรณีปลายเปิด	59
รูปที่ 3.3 แสดงกราฟกรณีปลายปิด	59
รูปที่ 3.4 แสดงกราฟกรณีต่อกับสายอากาศฮอร์ซอนคัลไดโพลไม่ต่อสลับ	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ใช้ประโยชน์ด้าน 61 คำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 3.5 แสดงกราฟกรณีต่อกับสายอากาศฮอร์ซอนตัลโคโพลเมื่อต่อสตัด	61
รูปที่ 3.6 แสดงกราฟกรณีต่อกับสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์ขณะไม่ต่อสตัด	63
รูปที่ 3.7 แสดงกราฟกรณีต่อกับสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์ขณะต่อสตัด	63
รูปที่ 3.8 การจัดรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น	64
รูปที่ 3.9 ผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโคโพลในแนวนอน	67
รูปที่ 3.10 ผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์	70
รูปที่ 3.11 ผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโคโพลในแนวนอน ขณะไม่ใส่สตัด	73
รูปที่ 3.12 ผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศโคโพลในแนวนอน ขณะใส่สตัด	76
รูปที่ 3.13 ผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์ ขณะไม่ใส่สตัด	79
รูปที่ 3.14 ผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์ ขณะใส่สตัด	82
รูปที่ 3.15 การวัดวีเอสดีบีบลิวอาร์และรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น	83
รูปที่ 3.16 สายอากาศยาก็ขณะใส่สตัด	84
รูปที่ 3.17 สัญญาณต่าง ๆ ที่วัดจากเน็ตเวิร์คออนไลน์เซอร์ขณะไม่ใส่สตัด	85
รูปที่ 3.17 สัญญาณต่าง ๆ ที่วัดจากเน็ตเวิร์คออนไลน์เซอร์ขณะใส่สตัด	86
รูปที่ 4.0 แสดงแผนผังหลักของโปรแกรม	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองกรณีปลายเปิดของชุดทดลองความถี่ย่านยูเอชเอฟ	58
ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองกรณีปลายปิดของชุดทดลองความถี่ย่านยูเอชเอฟ	58
ตารางที่ 3.3 ผลการทดลองเมื่อต่อกับสายอากาศฮอร์ริซอนตัลไดโพลขณะไม่ต่อสตัด	60
ตารางที่ 3.4 ผลการทดลองเมื่อต่อกับสายอากาศฮอร์ริซอนตัลไดโพลขณะต่อสตัด	60
ตารางที่ 3.5 ผลการทดลองเมื่อต่อกับสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์ขณะไม่ต่อสตัด	62
ตารางที่ 3.6 ผลการทดลองเมื่อต่อกับสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์ขณะต่อสตัด	62
ตารางที่ 3.7 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศฮอร์ริซอนตัลไดโพล	65
ตารางที่ 3.8 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์	68
ตารางที่ 3.9 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลในแนวนอนขณะ ไม่ใส่สตัด	71
ตารางที่ 3.10 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลในแนวนอนขณะ ใส่สตัด	74
ตารางที่ 3.11 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์ขณะไม่ใส่สตัด	77
ตารางที่ 3.12 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาราซีติกอาร์เรย์ขณะใส่สตัด	80

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 แนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์

การสื่อสารเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารระยะใกล้หรือระยะไกล เนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีและความต้องการในการติดต่อสื่อสารที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องมีการคิดค้นและพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการสื่อสาร เพื่อให้การสื่อสารเกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งสายนำสัญญาณ (Transmission Line) และสายอากาศ (Antenna) ก็เป็นอุปกรณ์สื่อสารที่ใช้เป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลหรือสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ

เนื่องจากปัจจุบันชุดทดลองเกี่ยวกับสายอากาศและสายนำสัญญาณมีอยู่น้อยและมีราคาแพง ซึ่งชุดทดลองเดิมที่ออกแบบมา ค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณและสายอากาศจะไม่แมทช์ (Mismatch) ทำให้การรับส่งสัญญาณมีประสิทธิภาพไม่ดีนัก ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบสายนำสัญญาณให้ค่าอิมพีแดนซ์ เกิดการแมทช์ซึ่งกับสายอากาศ ด้วยวิธีการใช้สตัปมาต่อขนานกับสายนำสัญญาณ ซึ่งตำแหน่งที่จะต่อสตัป และความยาวของสตัปสามารถออกแบบได้ด้วยสมิตชาร์ต ที่ทำการพล็อตด้วยมือ หรือใช้โปรแกรม Z-MATCH ในการออกแบบก็ได้ซึ่งจะให้ค่าเหมือนกัน

นอกจากนี้ยังมีการออกแบบการแมทช์ซึ่งระหว่างสายอากาศและสายนำสัญญาณ โดยใช้สตัปที่ใช้จริงๆ ในทางปฏิบัติ ที่ย่านความถี่ 144-146 MHz ซึ่งมีการวัด วีเอสดับบลิวาร์ (Voltage Standing Wave Ratio) ก่อนใส่สตัปและหลังใส่สตัปเพื่อดูความแตกต่าง และในส่วนสุดท้ายได้มีการเขียนโปรแกรมในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายนำสัญญาณเพื่อเป็นส่วนประกอบในการศึกษากับในทางปฏิบัติจริงๆ โดยการใชภษาวิชวลเบสิก ในการเขียนโปรแกรม ซึ่งเป็นโปรแกรมภาษาที่มีความสำคัญในการช่วยให้สร้างแอปพลิเคชันได้อย่างรวดเร็วและสะดวกในการแก้ไขพัฒนาเพิ่มเติม

#### 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

- 1) เพื่อศึกษาและออกแบบสายนำสัญญาณและสายอากาศให้เกิดการแมทช์ซึ่ง โดยการใส่สตัป
- 2) เพื่อศึกษาและนำสมิตชาร์ต และ โปรแกรม Z-MATCH มาใช้ในการออกแบบสตัปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้งาน โปรแกรมวิซวลเบสิกมาใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายนำสัญญาณ
- 4) เพื่อออกแบบสายนำสัญญาณและสายอากาศที่สามารถใช้งานได้จริงและนำไปผลิตในด้านอุตสาหกรรมได้
- 5) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาสายอากาศและสายนำสัญญาณต่อไปในอนาคตให้ดียิ่งขึ้น

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทำให้ประสิทธิภาพของการรับส่งสัญญาณมีค่าสูงขึ้น
- 2) ได้ชุดทดลองที่มีคุณภาพและมีราคาถูก
- 3) ได้เครื่องมือวัด เช่น VSWR METER, FIELD STRENGTH METER ที่ราคาถูกและมีประสิทธิภาพ
- 4) สามารถนำโปรแกรมภาษาที่เขียน ใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายนำสัญญาณได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

### 1.4 เนื้อหาของปริิณยานิพนธ์

- บทที่1** กล่าวถึงความสำคัญและที่มา วัตถุประสงค์ และประโยชน์
- บทที่2** กล่าวถึงทฤษฎีทั่วไปของสายอากาศและสายนำสัญญาณและการคำนวณหาตำแหน่งและความยาวของสตับ และกล่าวถึงทฤษฎีการทำงานของโครงงาน ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้คำนวณสตับ
- บทที่3** กล่าวถึงผลการทดสอบของชุดทดลองและที่ใช้ในทางปฏิบัติจริงของสายอากาศ และสายนำสัญญาณ
- บทที่4** กล่าวถึงการออกแบบและการใช้งานโปรแกรมเพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

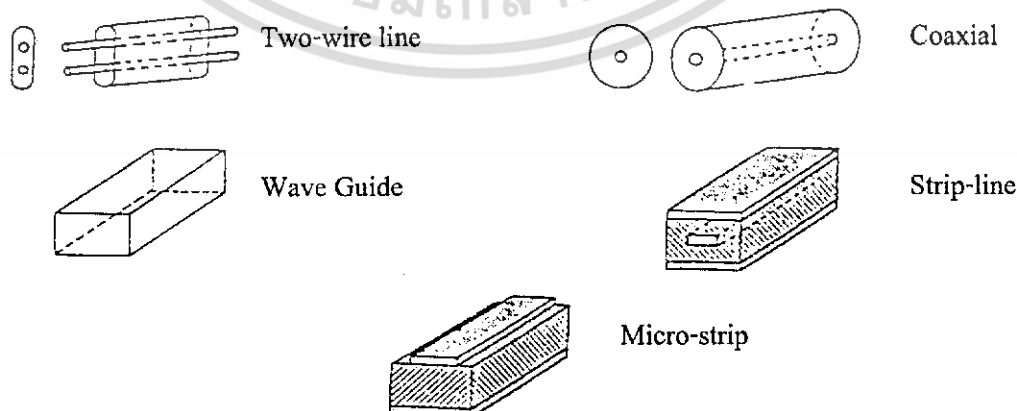
### ทฤษฎี

#### 2.1 สายนำสัญญาณ (Transmission Line)

ถ้ากล่าวถึงระบบสื่อสารแล้ว คงละเว้นที่จะกล่าวถึงสายนำสัญญาณไม่ได้ เพราะว่า ในระบบสื่อสารที่สมบูรณ์แบบ สายนำสัญญาณจะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่ง ทำการเชื่อมต่อเพื่อถ่ายเทกำลังงานระหว่างเครื่องรับส่งและสายอากาศ โดยที่สายนำสัญญาณทุกชนิด จะต้องมีความสมบัติประจำตัวอย่างหนึ่งเรียกว่า อิมพีแดนซ์ประจำตัวของสายนำสัญญาณ (Characteristic Impedance)

สายนำสัญญาณ แบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ

1. สายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน (Two-Wire line) หรืออาจเรียกว่า สายนำสัญญาณแบบสมดุล นำมาใช้งานกันเฉพาะที่ความถี่ต่ำ ๆ ในช่วงต้นของสเปกตรัมความถี่ย่านไมโครเวฟเท่านั้น
2. สายนำสัญญาณ โคนอกเชิบล เหมาะในงานประเภท short line length คือช่วงสั้น ๆ ในช่วงกลางของความถี่ย่านไมโครเวฟ รวมทั้งการรับส่งในระยะใกล้ของ ช่วงความถี่ที่สูงขึ้นไป
3. ท่อนำคลื่น (Wave Guide) ใช้ในงานที่ความถี่สูง
4. สตรีปไลน์และไมโครสตรีป ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ในวงจร เราจึงมักพบ สตรีปไลน์และไมโครสตรีปเป็นอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งบนแผ่นวงจรพิมพ์ในงานด้านไมโครเวฟอยู่เสมอ

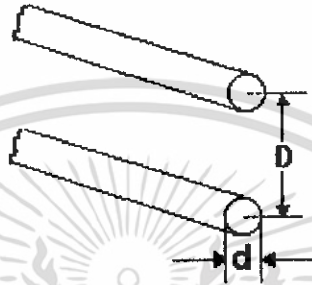


รูป 2.1 สายนำสัญญาณชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน (Two-wire line)

สายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน ประกอบด้วยแท่งตัวนำ 2 เส้น วางห่างกันด้วยระยะคงที่ สายนำสัญญาณชนิดนี้นิยมใช้เฉพาะในช่วงความถี่ต่ำสุด หรือช่วงต้นของแถบความถี่ในย่านไมโครเวฟ



รูป 2.2 แสดงสายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน

Characteristic Impedance ของสายนำสัญญาณแบบคู่ขนาน คือ

$$Z_0 = \frac{276}{\sqrt{\epsilon}} \log \frac{D}{d}$$

$$Z_0 = \text{Characteristic Impedance } \Omega$$

$$D = \text{ระยะห่างระหว่างแท่งตัวนำทั้งสอง}$$

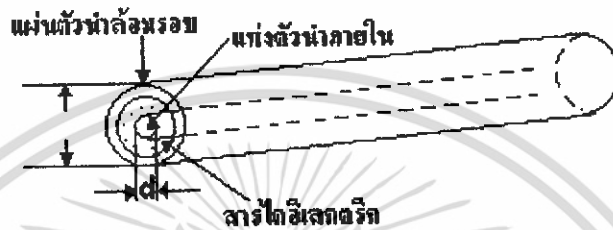
$$d = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของแท่งตัวนำแต่ละแท่ง}$$

$$\epsilon' = \text{ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ } (\epsilon' = 1 \text{ เมื่อสาร dielectric เป็นอากาศ})$$

ค่าอัตรา  $\frac{2D}{d}$  จะเป็นตัวกำหนดค่าคาเรคเตอร์ิสติกอิมพีแดนซ์ (Characteristic Impedance) ของสายแบบคู่ขนานนี้ ดังนั้น จึงเป็นไปได้ว่าเราอาจจะพบสายแบบคู่ขนานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของตัวนำและระยะห่างระหว่างตัวนำต่างกัน แต่มีค่า Characteristic Impedance เท่ากัน เนื่องจากมีค่าอัตราส่วน  $\frac{2D}{d}$  เท่ากันนั่นเอง

## สายโคแอกเซียล (Coaxial Line)

สายโคแอกเซียล ประกอบด้วยตัวนำ 2 เส้นขนานกัน แต่ตัวนำภายนอกจะเปลี่ยนรูปเป็นแผ่นตัวนำล้อมรอบแท่งตัวนำอีกเส้นหนึ่ง ซึ่งวางในแนวศูนย์กลางใช้แกนร่วมกัน โดยมีสารไดอิเล็กตริกคั่นกลาง ดังรูป



รูป 2.3 แสดงสายนำสัญญาณโคแอกเซียล

Characteristic Impedance ของสาย Coaxial คือ

$$Z_0 = \frac{138}{\sqrt{\epsilon'}} \log \frac{D}{d}$$

$Z_0$  = Characteristic Impedance  $\Omega$

$D$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของตัวนำภายนอก

$d$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกของตัวนำภายใน

$\epsilon'$  = ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ( $\epsilon' = 1$  เมื่อสาร dielectric เป็นอากาศ)

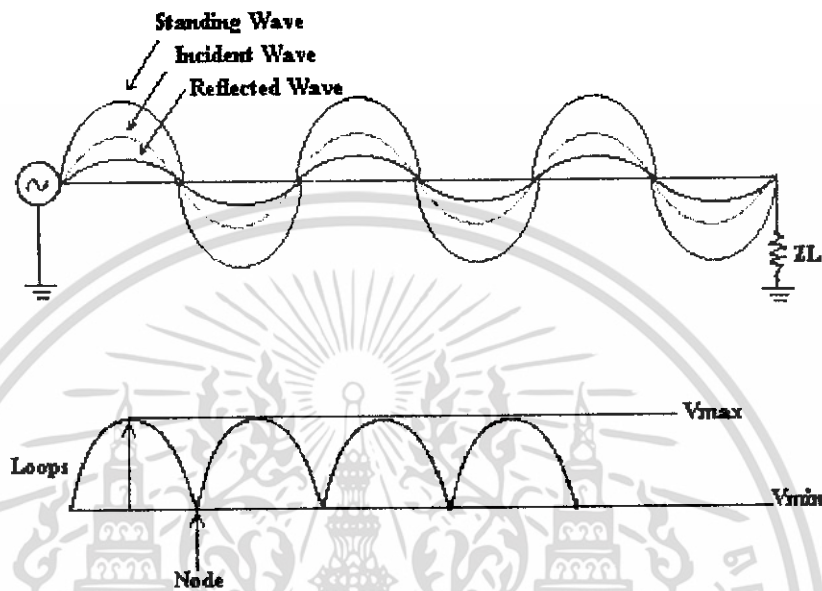
ค่า Characteristic Impedance ของสายโคแอกเซียลนั้นขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลาง ( $\frac{D}{d}$ ) ของตัวนำทั้งสอง ไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของสาย

## คลื่นนิ่ง (Standing Wave)

คลื่นนิ่งเกิดจากการรวมหรือบวกกันของคลื่นตกกระทบ (Incident Wave) และคลื่นสะท้อนกลับ (Reflected Wave) โดยมีจุดโนคอยู่กึ่งที่ ระหว่างจุดโนคทั้งหลายทุกคลื่นจะเปลี่ยนไปถึงจุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงสุด (Loops) และลดลงจนถึงจุดต่ำสุด (node) และคลื่นนิ่งจะสามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีความถี่ของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนกลับมีค่าเท่ากันเท่านั้น



รูป 2.4 แสดงการเกิดคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณ

ค่าแรงดันสูงสุด ( $V_{max}$ ) ของคลื่นนิ่งได้มาจากการรวมกันของคลื่นตกกระทบจากแหล่งจ่าย (Source) และคลื่นสะท้อนกลับที่มีเฟสตรงกัน (In phase)

$$V_{max} = V_i + V_r$$

ค่าแรงดันต่ำสุด ( $V_{min}$ ) ของคลื่นนิ่งได้มาจากการรวมกันของคลื่นตกกระทบจากแหล่งจ่าย (Source) และคลื่นสะท้อนกลับที่มีเฟสตรงข้ามกัน (Out of phase)

$$V_{min} = V_i - V_r$$

อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดต่อแรงดันต่ำสุด เรียกว่า “อัตราส่วนคลื่นนิ่งของแรงดัน” (Voltage Standing Wave Ratio, VSWR)

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_i + V_r}{V_i - V_r}$$

VSWR แสดงในหน่วยเดซิเบล (dB) เรียกว่า อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (Standing Wave Ratio, SWR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{SWR (dB)} = 20 \log(\text{VSWR})$$

สำหรับสายนำสัญญาณที่ต่ออยู่กับ โหลดที่เป็นรีซิสทีฟ (Resistive load,  $Z_L$ ) ค่า SWR จะได้

$$\text{SWR} = \frac{Z_L}{Z_0} \quad \text{ในกรณีที่ } Z_L > Z_0$$

$$\text{SWR} = \frac{Z_0}{Z_L} \quad \text{ในกรณีที่ } Z_0 > Z_L$$

เมื่อ  $Z_0$  = Characteristic Impedance ของสายนำสัญญาณ

$Z_L$  = ความต้านทานของ load ที่ต่ออยู่ปลายสาย

หรือถ้าพิจารณาในรูปคลื่นกระแส ค่า SWR จะได้

$$\text{SWR} = \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{I_i + I_r}{I_i - I_r}$$

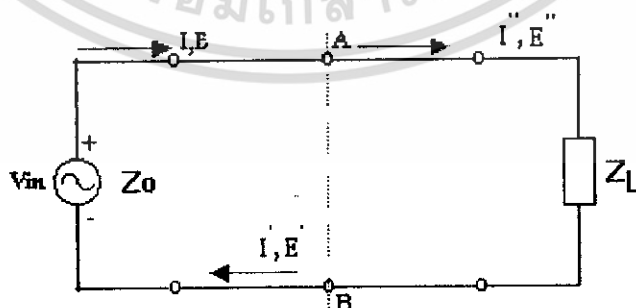
ในทางอุดมคติถ้าเกิดการ Matching ทุก ๆ ตำแหน่งบนสายนำสัญญาณนั้นคือ

$$\begin{aligned} V_{\max} &= V_{\min} \\ \text{จะได้ } \text{VSWR} &= \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = 1.0 \end{aligned}$$

ซึ่งในทางปฏิบัติจะเป็นได้ยาก ดังนั้น VSWR จะมีค่ามากกว่า 1 เสมอ

## 2.2 การสะท้อนกลับในสายนำสัญญาณที่ต่ออยู่กับโหลด

การเกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณในสายนำสัญญาณที่ต่ออยู่กับโหลด (สายอากาศสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูป 2.5 แสดงวงจรของการเกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$I', E'$  = กระแสและแรงดันที่เกิดการสะท้อนกลับที่จุด A, B

จากวงจร

$$I'' = I + I' \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$E'' = E + E' \quad \dots\dots\dots(2)$$

แต่  $I = \frac{E}{Z_0}$  ,  $I' = \frac{-E'}{Z_0}$  ,  $I'' = \frac{E''}{Z_L}$

และ  $E = I \cdot Z_0$  ,  $E' = -I' \cdot Z_0$  ,  $E'' = I'' \cdot Z_L$

แทนค่า  $I, I', I''$  ในสมการ (1)

$$\frac{E''}{Z_L} = \frac{E}{Z_0} - \frac{E'}{Z_0} = \frac{E - E'}{Z_0}$$

$$E'' \cdot Z_0 = (E - E') \cdot Z_L \quad \dots\dots\dots(3)$$

แทนค่า  $E''$  จากสมการ (2) ลงในสมการ (3)

$$(E - E') \cdot Z_0 = (E - E') \cdot Z_L$$

$$E \cdot Z_0 + E' \cdot Z_0 = E \cdot Z_L - E' \cdot Z_L$$

$$E' \cdot Z_0 + E' \cdot Z_L = E \cdot Z_L - E \cdot Z_0$$

$$E' (Z_0 + Z_L) = E (Z_L - Z_0)$$

$$E' = \frac{E(Z_L - Z_0)}{(Z_0 + Z_L)} E \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$= E \cdot K$$

เมื่อ  $K = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$  เรียกว่า “Voltage Reflection Coefficient”

จากสมการ (4) ถ้า  $Z_L = Z_0$  จะทำให้  $E' = 0$  นั่นคือหมายความว่า จะไม่มีการสะท้อนกลับของสัญญาณ เพราะ  $Z_L$  Match กับ  $Z_0$

จาก (4) แทนค่า  $E'$  ในสมการ (2)

$$\therefore E'' = E + \frac{E(Z_L - Z_0)}{(Z_L + Z_0)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E'' = \frac{E(Z_L + Z_0) + E(Z_L - Z_0)}{Z_L + Z_0} = \frac{E(Z_L + Z_0 + Z_L - Z_0)}{Z_L + Z_0}$$

$$E'' = E \left[ \frac{2Z_L}{Z_L + Z_0} \right] \dots\dots\dots(5)$$

ค่า  $\left[ \frac{2Z_L}{Z_L + Z_0} \right]$  เรียกว่า **“Voltage Transmission Coefficient”**

นั่นคือ ถ้า  $Z_L = Z_0$  จะทำให้  $E'' = E$  แสดงว่า แรงดันทั้งหมดจะตกคร่อมที่ load ( $Z_L$ ) ไม่มีการสะท้อนกลับของสัญญาณแรงดันเลย

จากสมการ (2)  $E'' = E + E'$

$$\therefore I'' \cdot Z_L = I \cdot Z_0 - I' \cdot Z_0 \dots\dots\dots(6)$$

แทนค่า  $I''$  จากสมการ (1) ในสมการ (6)

$$(I + I') Z_L = (I - I') Z_0$$

$$I \cdot Z_L + I' \cdot Z_L = I \cdot Z_0 - I' \cdot Z_0$$

$$I(Z_L + Z_0) = I(Z_0 - Z_L)$$

$$I' = I \left[ \frac{Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L} \right] = -IK \quad (I \text{ และ } I' \text{ สวนทางกัน})$$

ค่า  $\left[ \frac{Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L} \right] = -K$  เรียกว่า **“Current Reflection Coefficient”**

จาก  $I'' = I + I'$

$$= I + I \left[ \frac{Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L} \right] = \frac{I(Z_0 + Z_L) + I(Z_0 - Z_L)}{Z_0 + Z_L}$$

$$I'' = I \left( \frac{Z_0 + Z_L + Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L} \right) = I \left[ \frac{2Z_0}{Z_0 + Z_L} \right] \dots\dots\dots(7)$$

ค่า  $\left[ \frac{2Z_0}{Z_0 + Z_L} \right]$  เรียกว่า **“Current Transmission Coefficient”**

จากสมการ (7) ถ้า  $Z_0 = Z_L$  จะทำให้  $I'' = I$  แสดงว่า ไม่มีกระแสไหลกลับไปยังแหล่งจ่ายเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 การหากราฟคุณลักษณะแสดงอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ซึ่งต่อปลายแบบปิด หรือเปิด (Short or Open Termination)

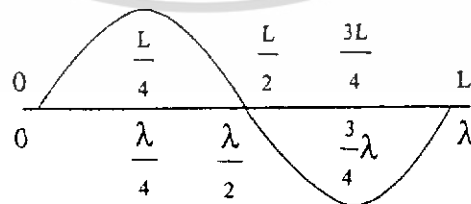
สมการที่ใช้หาอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ คือ

$$Z_{in} = Z_0 \left[ \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta L)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta L)} \right] \Omega$$



รูป 2.6 แสดงการต่อสายนำสัญญาณเข้ากับโหลด

เมื่อ	$Z_{in}$	=	อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ( $\Omega$ )
	$Z_0$	=	ค่าเรคเตอร์สติกอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ( $\Omega$ )
	$Z_L$	=	โหลดอิมพีแดนซ์ ( $\Omega$ )
	$L$	=	ความยาวของสายนำสัญญาณ ( $\lambda$ )
	$\beta$	=	ค่าคงตัวของเฟสหรือค่าคงตัวความยาวคลื่น (Phase Constant)
		=	$\frac{2\pi}{\lambda}$

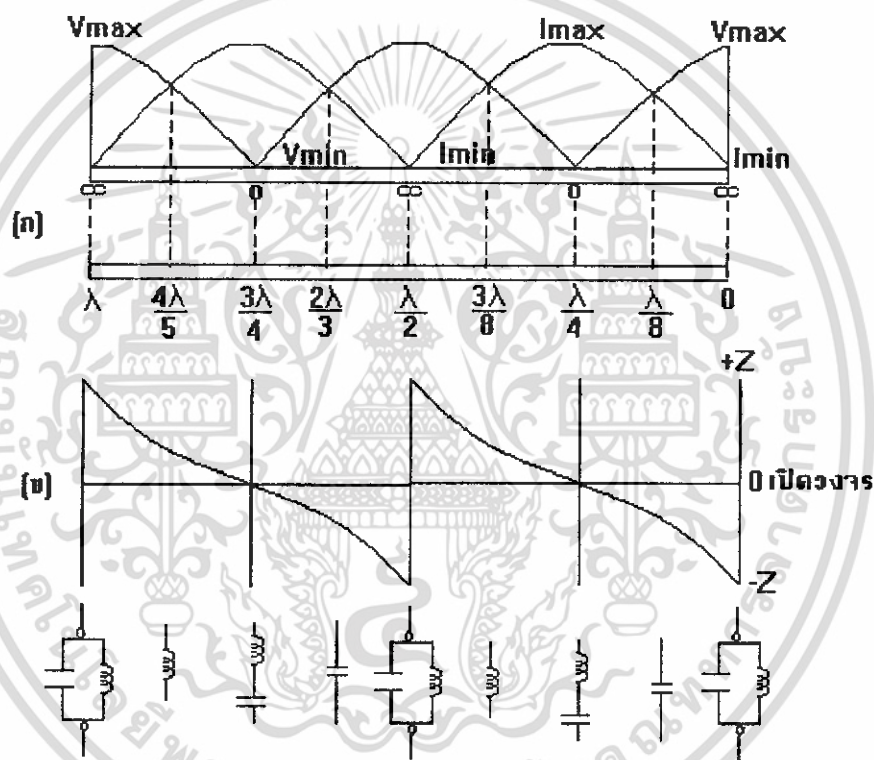


รูป 2.7 แสดงค่าความยาวที่ตำแหน่งต่างๆของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายนำสัญญาณนั้นวัดความยาวเป็นเมตรหรือเป็นหน่วยของความยาวคลื่นก็ได้ หน่วยของความยาวคลื่น( $\lambda$ )ได้จากการเทียบค่า(Normalized)ความถี่ที่ใช้งาน ในขณะที่หน่วยเมตรนั้นไม่มีการเทียบค่า

**อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณกรณีปลายเปิด (Open Circuit)**



รูป 2.8 (ก) การกระจายของคลื่นแรงดันและกระแสบนสายนำสัญญาณต่อปลายแบบเปิด

(ข) การกระจายของอิมพีแดนซ์บนสายนำสัญญาณต่อแบบปลายเปิด

อินพุทอิมพีแดนซ์หาได้จากกฎของโอห์ม

$$Z_{in} = \frac{V}{I}$$

จากรูปกราฟที่ปลายสาย  $\frac{\lambda}{2}, \lambda$  limit I เข้าใกล้ 0 ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_{in} = \lim_{I \rightarrow 0} \frac{V_{max}}{I_{min}} = \infty \ \Omega$$

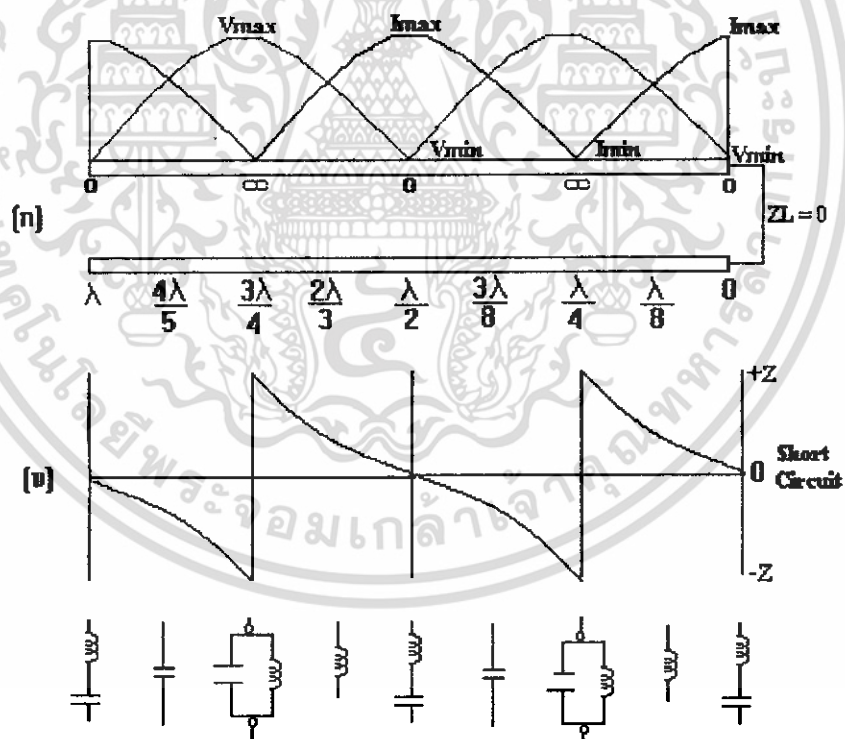
$$\text{ที่ } \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4} \quad Z_{in} = \lim_{I \rightarrow \infty} \frac{V_{min}}{I_{max}} = 0 \ \Omega$$

$Z_{in} = \infty$  เทียบได้กับ วงจรอินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์ต่อขนานกัน

$Z_{in} = 0$  เทียบได้กับ วงจรอินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์ต่ออนุกรมกัน

$Z_{in}$  ระหว่าง 0 กับ  $\infty$  เทียบได้กับ อินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์สลับกัน

อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณเมื่อต่อปลายแบบปิด (short circuit)



รูป 2.9 (ก) การกระจายคลื่นแรงดันและกระแสบนสายนำสัญญาณต่อปลายแบบปิด

(ข) การกระจายของอิมพีแดนซ์บนสายนำสัญญาณต่อปลายแบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟ ค่า  $Z_{in}$  ที่ปลายปิด

$$\begin{aligned} 0, \lambda, \frac{\lambda}{2} \quad Z_{in} &= \lim_{V \rightarrow 0} \frac{V_{min}}{I_{max}} \\ &= 0 \Omega \quad \text{เทียบได้กับ อินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์ต่ออนุกรมกัน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ที่ } L &= \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \quad Z_{in} = \lim_{I \rightarrow 0} \frac{V_{min}}{I_{max}} \\ &= \infty \Omega \quad \text{เทียบได้กับ อินดักเตอร์และคาปาซิเตอร์ต่อขนานกัน} \end{aligned}$$

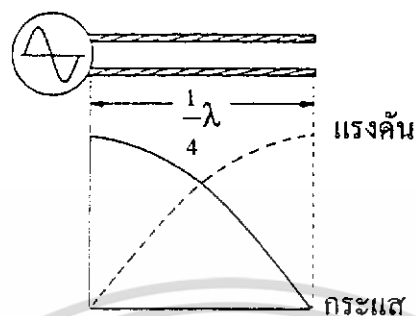
การหาอินพุทอิมพีแดนซ์ใช้สมการทั่วไปคือ

$$Z_{in} = Z_0 \left[ \frac{Z_L + jZ_0 \tan(\beta L)}{Z_0 + jZ_L \tan(\beta L)} \right]$$

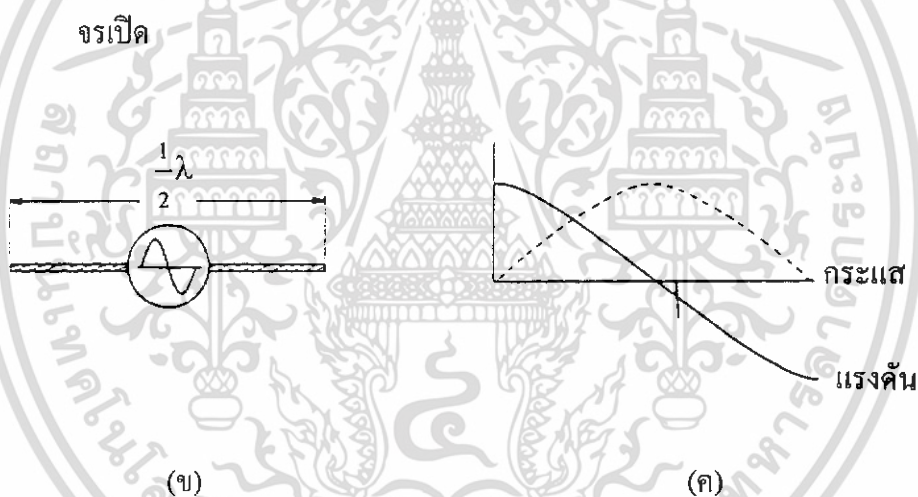
## 2.4 สายอากาศ (Antenna)

### หลักการของสายอากาศ

สายอากาศเป็นส่วนสำคัญของเครื่องรับและเครื่องส่ง ทำหน้าที่แปรคลื่นจากเครื่องส่งให้ออกอากาศและรับคลื่นวิทยุเข้าสู่เครื่องรับ สายอากาศก็เหมือนกับวงจรไฟฟ้า ที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ สายอากาศส่วนใหญ่จึงทำด้วยลวดตัวนำเป็นท่อนหรือลวดเป็นเส้นตรงหรือโค้งงอแล้วแต่ชนิดของสายอากาศ โดยทั่วไปจะมีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่น เราสามารถใช้สายอากาศทำหน้าที่เป็นได้ทั้งสายอากาศส่งหรือสายอากาศรับ เนื่องจากในทางทฤษฎีจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน



รูป 2.10 (ก) แสดงการกระจายแรงดันและกระแสนบนสายนำสัญญาณยาว  $\frac{\lambda}{4}$  ซึ่งมีโหนดเป็นวง



รูป 2.11 โคโพลซนิคฮาล์ฟเวฟ

จากรูป (ก) แสดงสายนำสัญญาณชนิดสมมูลยาว  $\frac{\lambda}{4}$  แบบวงจรรเปิด จะเห็นว่าคลื่นที่ออก  
จากเครื่องส่งผสมกับคลื่นสะท้อนกลับได้ผลลัพธ์เป็นคลื่นนิ่ง ความจริงแล้วพลังงานบางส่วนที่ออก  
ไปยังปลายด้านที่เปิดวงจรรจะแพร่กระจายคลื่นออกอากาศไปได้ อย่างไรก็ตามปริมาณคลื่นที่แพร่  
ออกไปจะน้อย ด้วยเหตุผล 2 ประการคือ ประการแรก สภาพแวดล้อมซึ่งเป็นโหนดของสายนำ  
สัญญาณไม่เหมาะสมทำให้พลังงานจ่ายให้โหนด (ส่งออกอากาศ) ได้น้อย ประการที่สอง สายทั้งสอง  
เส้นอยู่ใกล้กันมาก และต่างเฟสกัน 180 องศา คลื่นที่แผ่ออกไปส่วนใหญ่จะหักล้างกันเอง  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราถ่วงปลายสายนำสัญญาณให้ห่างออกเป็น 2 เส้น การแพร่กระจายคลื่นทั้งคู่จะมีโอกาสหักล้างกันได้น้อยลง และนอกจากนี้พลังงานที่จ่ายให้โหลด (ส่งออกอากาศ) จะจ่ายได้มากขึ้น การแพร่คลื่นจะเพิ่มขึ้นเต็มที่เมื่อปลายสายอยู่ในแนวเดียวกัน ดังรูป (ข) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะกระจายออกไปรอบ ๆ ทำให้การแพร่คลื่นออกได้เต็มที่ สายอากาศชนิดนี้เรียกว่า ไดโพล ความยาวของสายแต่ละข้างเท่ากับ  $\frac{\lambda}{4}$  และความยาวรวมเท่ากับ  $\frac{\lambda}{2}$  ไดโพลชนิดนี้จึงเรียกว่า ฮาร์ฟเวฟไดโพล

รูปคลื่นหนึ่งของแรงดันและกระแสบนสายอากาศไดโพล จะเป็นดังรูป (ค) สังเกตว่าปลายทั้งสองของสายอากาศเสมือนเปิดวงจร แรงดันจึงมากที่สุดและมีกระแสไหลน้อยที่สุด จุดกลางของสายอากาศซึ่งเรียกว่า จุดฟีด (feed point) จะมีกระแสไหลมากที่สุดและแรงดันต่ำที่สุด ดังนั้นตามรูปอิมพีแดนซ์ของฮาร์ฟเวฟไดโพลน่าจะมีค่าศูนย์ แต่ความจริงอิมพีแดนซ์จะเท่ากับ 73 โอห์ม ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานบางส่วนสูญเสียในการแพร่คลื่นออกไป และไม่สะท้อนกลับ

**การแพร่คลื่นของสายอากาศ**

เนื่องจากปลายสายอากาศไดโพลทั้งสองด้านมีแรงดันสูง จึงทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่ปลายทั้งสอง สนามไฟฟ้านี้ เกิดขึ้นในทำนองเดียวกับสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นประจุของตัวเก็บประจุ (Capacitor) แต่สนามไฟฟ้าในที่นี้ไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะแผ่นประจุ แต่กระจายออกสู่อากาศ ดังรูป



รูป 2.12 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดรอบ ๆ ฮาร์ฟเวฟไดโพล

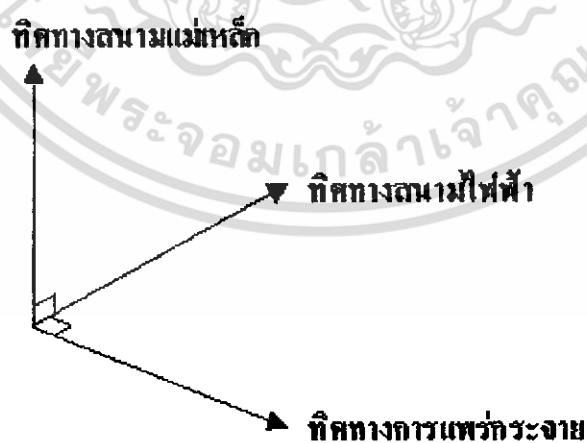
สังเกตว่าในกรณีเดียวกันนี้จะทำให้สนามแม่เหล็กเกิดขึ้นด้วยเพราะมีกระแสไหลในสายอากาศ เนื่องจากกระแสไหลมากที่สุดบริเวณจุดฟีด สนามแม่เหล็กบริเวณจุดฟีดจึงแรง ทั้งสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถแพร่กระจายออกไปได้ คลื่นดังกล่าวจะเดินทางไปเรื่อย ๆ แม้ว่ากระแสและแรงดันจะหยุดป้อนให้สายอากาศแล้วก็ตาม

อย่างไรก็ตามเมื่อคลื่นเดินทางยิ่งห่างจากสายอากาศเท่าใด พลังงานก็จะอ่อนลง แอมพลิจูดของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เรายนิมวัดเป็นแรงดันที่เหนี่ยวนำบนสายอากาศ เราเรียกค่าที่วัดได้นี้ว่า “ความแรงสนาม (field strength)” โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “ฟิลด์สเตรนทิมิเตอร์” (Field strength Meter)

ความแรงสนามจะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากเครื่องส่ง และกำลังส่งของเครื่องส่ง ความแรงจะน้อยลง ณ จุดที่ห่างออกไปโดยแปรผกผันกับระยะทาง เช่น เมื่อระยะทางไกลออกไป 2 เท่า ความแรงของสัญญาณจะลดลงครึ่งหนึ่ง ในทำนองเดียวกันถ้ากำลังส่งของเครื่องส่งมากขึ้นความแรงสนามก็จะแรงขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามความแรงสนามเป็นค่าแรงดันที่เหนี่ยวนำบนสายอากาศ แต่เนื่องจากกำลังไฟฟ้าแปรตามกำลังสองของแรงดัน ฉะนั้นความแรงสนามจะเป็นสัดส่วนกับรากที่สองของกำลังที่เครื่องส่ง นั่นคือ ถ้ากำลังส่งเพิ่มเป็น 2 เท่า ความแรงสนามจะเป็น  $(\sqrt{2})$  เท่า

### โพลาไรเซชัน (Polarization)

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ออกจากสายอากาศ ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก สนามทั้งสองนี้จะตั้งฉากซึ่งกันและกัน และทั้งคู่ก็ตั้งฉากกับทิศทางเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยตั้งรูปด้านล่าง ในที่นี้สนามไฟฟ้าจะอยู่ในแนวราบ เรียกว่า คลื่นนี้มีโพลาไรเซชันแนวราบ ถ้าสนามไฟฟ้าอยู่ในแนวตั้ง เรียกว่า คลื่นนี้มีโพลาไรเซชันแนวตั้ง ฉะนั้นทิศทางของสนามไฟฟ้าจะเป็นตัวกำหนดทิศทางการแพร่กระจาย



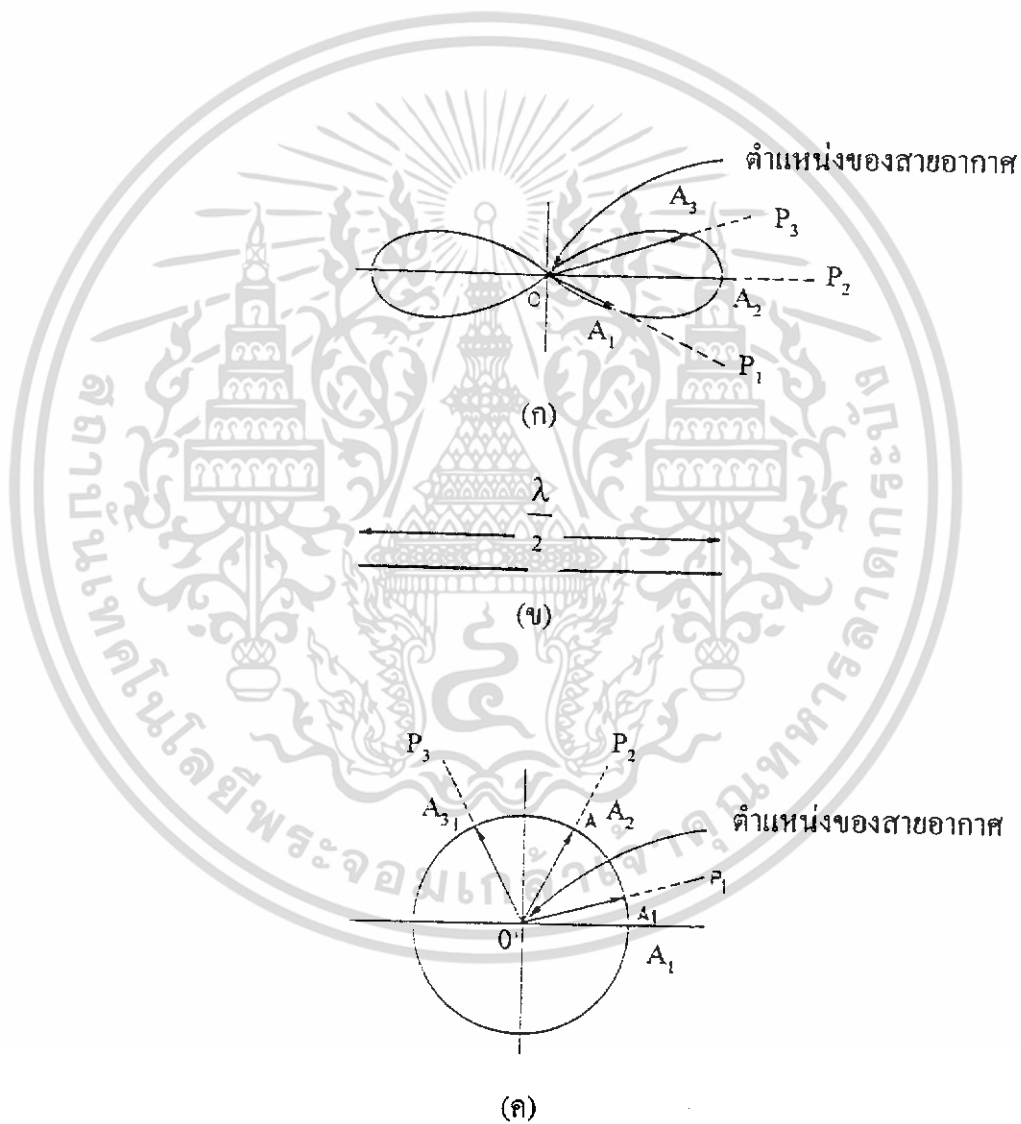
รูป 2.13 โพลาไรเซชันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สายอากาศที่วางตัวในแนวราบจะเกิดโพลาไรเซชันในแนวราบ และสายอากาศที่วางตัวในแนวตั้งจะเกิดโพลาไรเซชันในแนวตั้ง ความสำคัญของ โพลาไรเซชันนั้นอยู่ตรงที่คลื่นที่ส่งมาแบบเอกสารเป็นเอกสารทลวงวันเวลาหรับการเชิงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ดูเห็นใบเซบระซึ่งนด้านกรกาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลาริเซชันแนวตรงจะรับด้วยสายอากาศที่วางตัวในแนวราบได้ดีกว่าสายอากาศที่วางตัวในแนวตั้ง

**รูปแบบการแผ่คลื่น (Radiation Pattern)**

รูปแบบการแผ่คลื่นเป็นการเขียนไดอะแกรมเพื่อแสดงความสามารถในการส่งหรือรับสัญญาณของสายอากาศในทิศทางต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากสายอากาศจะมีความสามารถในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน



รูป 2.14 แสดงรูปแบบการแผ่คลื่นของสายอากาศฮาร์ตเวฟไดโพลโดยมองบนระนาบแนว

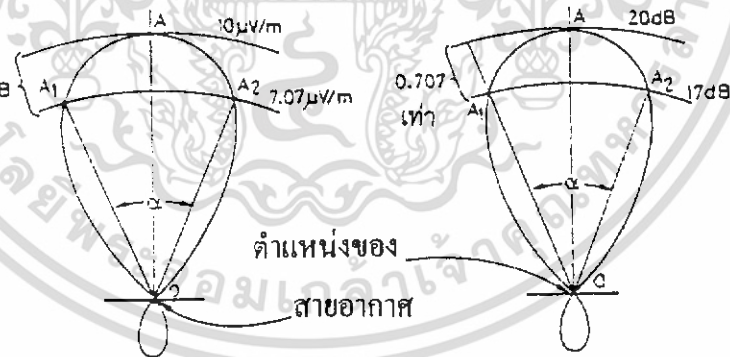
ราบ (รูป ก) และมองบนระนาบแนวตั้ง (รูป ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัด 86723 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปซึ่งแสดงรูปแบบการแพร่คลื่นบนระนาบแนวราบและบนระนาบแนวตั้งของสายอากาศอาร์โคไน์ สังเกตว่าตำแหน่งของสายอากาศอยู่ ณ จุด O ในรูป (ก) และรูป (ค) ระยะความยาวของลูกศร OA แสดงความแรงของคลื่นที่แพร่ออก (หรือรับได้) จากสายอากาศในทิศทาง  $OP_1$  สมมติว่าเราต้องการทราบความสามารถของสายอากาศในการแพร่คลื่นในทิศทางอื่น ก็สามารทำได้โดยเคลื่อนที่ไปรอบจุด O นั่นคือ จุด  $P_1$  วนไปรอบ ๆ จุด O นั่นเอง ความแรงของสัญญาณที่วัดได้ในทิศทางอื่นจะมีค่าเท่ากับระยะความยาวของลูกศร เช่น ในทิศทาง  $OP_2$  ความแรงจะเป็น  $OA_2$  ส่วนในทาง  $OP_3$  ความแรงจะเป็น  $OA_3$  เป็นต้น กล่าวโดยสรุปรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ก็คือรูปภาพที่แสดงความสามารถในการแพร่คลื่น(หรือรับคลื่น) เปรียบเทียบกันในทิศทางต่าง ๆ นั่นเอง

**บีมวิดท์ (Beam width)**

สายอากาศชนิดต่าง ๆ ก็มีรูปแบบการแพร่คลื่นต่าง ๆ กัน วิธีหนึ่งที่จะเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่คลื่นก็คือ ดูจากลักษณะของรูปแบบการแพร่คลื่นออกไปในลักษณะใดแทนที่จะต้องเปรียบเทียบรูปแบบการแพร่คลื่นทุก ๆ จุดความกว้างของลำคลื่น (Beam width) เป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น โดยคิดจากมุมของลำคลื่นในทิศทางที่พุ่งไปแรงมากที่สุด ดังรูปซึ่งแสดงการวัดความกว้างของลำคลื่น



รูป 2.15 การวัดความกว้างลำคลื่น (Beam width) ในรูปแบบการแพร่คลื่นค่า dB หรือ  $\mu V/m$  บนรูปแบบการแพร่คลื่นที่แสดงไว้เป็นค่าสมมติเพื่อแสดงการเปรียบเทียบ

สังเกตว่าจะพิจารณาเฉพาะลำคลื่นในทิศทางที่แรงที่สุด คือ OA แล้วอ่านค่าของความกว้างของมุมระหว่าง  $OA_1$  และ  $OA_2$  มีความยาวลดลงเหลือ 0.707 เท่าของ OA หรือ  $OA_1$  ส่วน  $OA_2$  สั้นกว่า OA อยู่ 3dB นั่นคือบีมวิดท์เท่ากับ  $\alpha$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### อัตราขยายของสายอากาศ (Gain)

อัตราขยายของสายอากาศเป็นการเปรียบเทียบเอาที่พู่ทของสายอากาศในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง เทียบกับเอาที่พู่ทของสายอากาศอ้างอิง (Reference Antenna) ปกตินิยมใช้สายอากาศฮาร์ฟเวฟ ไดโพลเป็นสายอากาศอ้างอิง (บางครั้งก็ใช้สายอากาศสมมติที่เรียกว่า สายอากาศไอโซโทรปิก เป็นสายอากาศอ้างอิง)

สมมติว่าสายอากาศชนิดหนึ่งมีอัตราขยาย 10 dB (หรือ 10 เท่า) หมายความว่า สายอากาศชนิดนั้นส่งคลื่นออกไปแรงกว่าสายอากาศอ้างอิงอยู่ 10 dB (หรือ 10 เท่า)

ความจริงแล้วถ้าสายอากาศส่งคลื่นออกไปได้ในทิศทางหนึ่ง ส่วนทิศทางอื่นก็จะส่งคลื่นน้อยลงไป อัตราขยาย(Gain)ของสายอากาศมิได้หมายความว่า กำลังเอาที่พู่ทของสายอากาศมากกว่ากำลังอินพุท หากแต่เป็นอัตราขยายที่คิดเทียบกับสายอากาศอ้างอิง

### ความต้านทานการแพร่คลื่น

การป้อนกำลังคลื่นวิทยุให้แก่สายอากาศเพื่อส่งออกอากาศนั้นจะต้องทำการป้อนผ่านสายนำสัญญาณ ดังที่ทราบมาแล้วว่าค่าคาเรตเตอร์สติกอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณจะต้องเท่ากับ ความต้านทานของโหลด (ในที่นี้คือสายอากาศ) มิฉะนั้นจะเกิดคลื่นนิ่งบนสายนำสัญญาณ คือมีการสะท้อนกลับของคลื่น

ความต้านทานของสายอากาศในที่นี้ไม่สามารถหาได้โดยการใช้โอห์มมิเตอร์วัดคร่อมขั้วต่อของสายอากาศ เนื่องจากโอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทานในทางดีซี (เป็นค่าของกระแสตรง) ส่วนค่าความต้านทานของสายอากาศในที่นี้เป็น ค่าความต้านทานการแพร่คลื่น

ความต้านทานการแพร่คลื่นของสายอากาศ เป็นความต้านทานสมมติ โดยคิดจากกำลังที่สายอากาศสามารถเปลี่ยนเป็นคลื่นส่งออกอากาศไป เช่น สายอากาศแพร่คลื่น 100 watts ออกไป โดยกินกระแส 2 A. หมายความว่าสายอากาศมีความต้านทานแพร่คลื่น เท่ากับ

$$R = \frac{P}{I^2} = \frac{100}{2^2} = 25 \Omega$$

### สายอากาศไดโพล(Dipole Antenna)

สายอากาศแบบฮาล์ฟเวฟไดโพล เป็นสายอากาศที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ความยาวของสายอากาศเท่ากับ  $\frac{\lambda}{2}$  ที่ความถี่ใช้งาน ซึ่งคำนวณความยาวได้จากสูตร

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{f}$$

$$\lambda = \text{ความยาวคลื่น (m)}$$

$$f = \text{ความถี่ใช้งาน (Hz)}$$

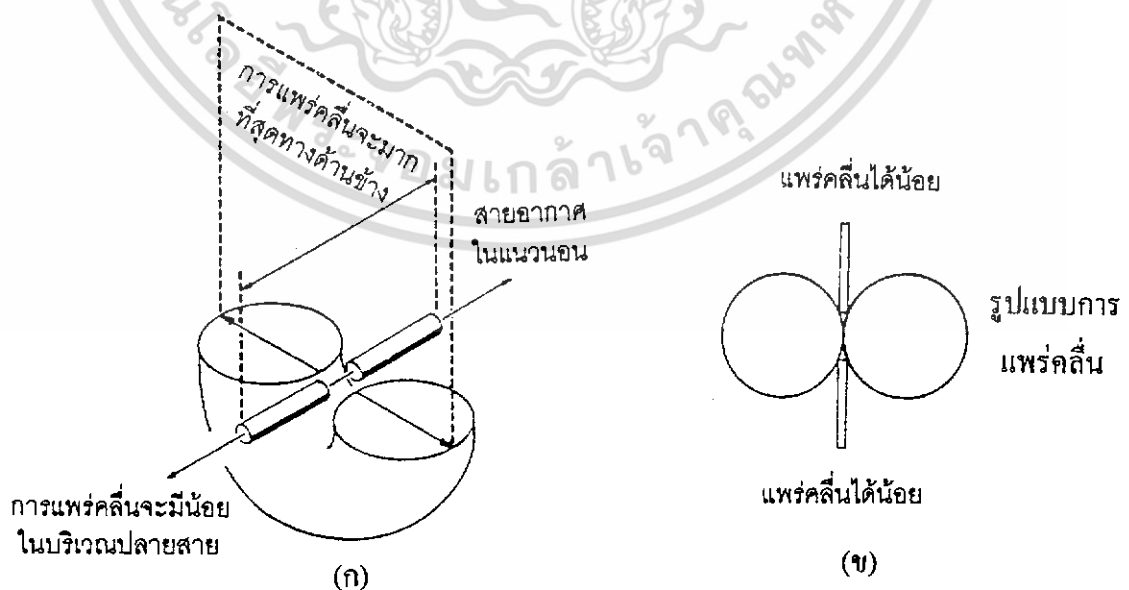
$$c = \text{ความเร็วแสงในอากาศ (m/s)}$$

สูตรนี้ใช้คำนวณในกรณีที่คลื่นเดินทางในอากาศ (free space) หรือในกรณีที่คลื่นเดินทางในเส้นลวดสายอากาศ ปลายของสายอากาศเปรียบเสมือนมีความยาวทางไฟฟ้ามากกว่าปกติ เนื่องจากเสมือนมีตัวเก็บประจุต่อที่ปลายสาย สูตรคำนวณความยาวสายอากาศจึงต้องแก้ไขเล็กน้อยเป็น

$$\text{ความยาว} \frac{\lambda}{2} = \frac{142.5}{f(\text{MHz})} \quad (\text{m})$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{\lambda}{2} = \frac{468}{f(\text{MHz})} \quad (\text{ฟุต})$$

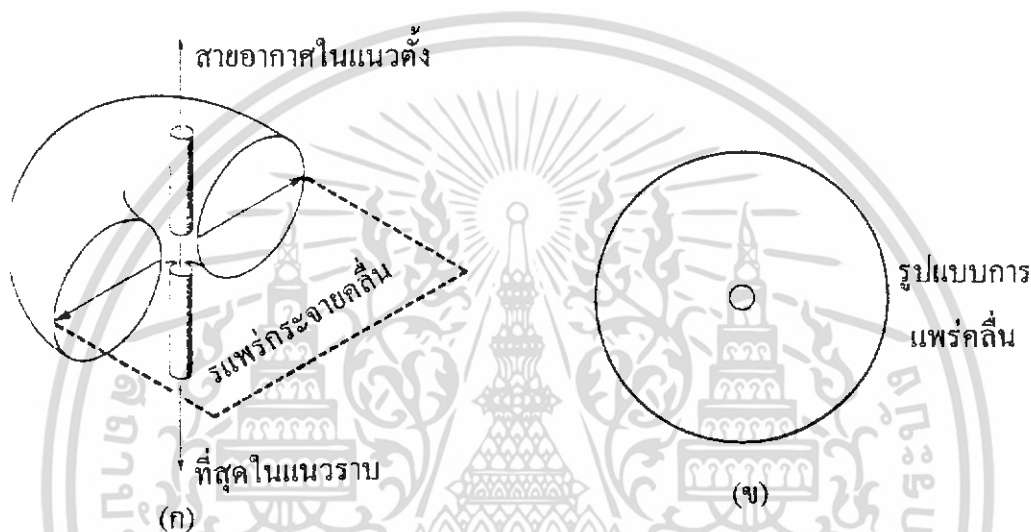
สูตรข้างบนเป็นสูตรที่แก้ไขความจุที่ปลายสายอากาศแล้ว



รูป 2.16 แสดงรูปแบบการแผ่คลื่นของสายอากาศ ฮาล์ฟเวฟไดโพล วางตัวในแนวราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูป (ก) แสดงให้เห็นรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศฮาโลฟเวฟไดโพล ที่วางตัวในแนวราบ สังเกตว่าการแพร่คลื่นจะมากที่สุดด้านข้าง (broadside) และน้อยที่สุดทางปลายสาย รูป (ข) แสดงการพล็อตรูปแบบการแพร่คลื่นระนาบในแนวราบ สังเกตว่าการแพร่คลื่นจะน้อยที่สุดในทิศชี้ขึ้นข้างบนและล่างของรูปภาพ



รูป 2.17 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศฮาโลฟเวฟไดโพลวางตัวในแนวตั้ง

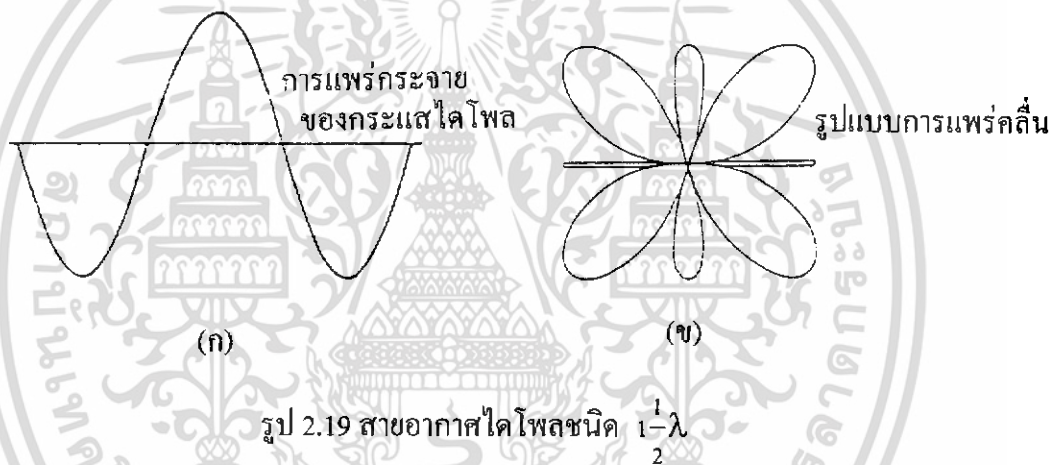


รูป 2.18 แสดงสายอากาศฟูลเวฟไดโพล

สำหรับรูป (ก) เป็นรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศชนิดเดิม แต่วางตัวในแนวตั้ง สังเกตว่าในกรณีนี้ การแพร่คลื่นจะเท่ากันหมดในทิศทางรอบตัวของสายอากาศส่วนการแพร่คลื่นจะน้อยที่สุดในทิศทางชี้ขึ้นฟ้าและลงดินของสายอากาศ เมื่อเขียนกราฟแสดงรูปแบบการแพร่คลื่นลงบนระนาบในแนวราบจะได้เป็นวงกลม เพราะมีการแพร่คลื่นไปรอบ ๆ ตัวของสายอากาศเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศไดโพลที่มีความยาว  $\frac{\lambda}{2}$  จะทำงานเป็นสายอากาศชนิดฮาร์ฟเวฟ เมื่อความถี่สูงขึ้นสายอากาศจะทำงานเปลี่ยนไป เนื่องจากความยาวของสายอากาศเทียบกับความยาวคลื่นจะได้ค่ายาวขึ้น เช่น สายอากาศฮาร์ฟเวฟไดโพล จะทำงานเป็นสายอากาศฟูลเวฟไดโพล เมื่อความถี่เพิ่มเป็น 2 เท่า (คือเป็นความถี่ฮาร์โมนิกที่สอง) การแพร่กระจายของกระแสบนฟูลเวฟไดโพล จะเป็น ดังรูป (ก) สังเกตว่ากระแสจะไหลน้อยที่สุดที่ตรงกลาง นั่นคือ สายอากาศชนิดนี้จะมีอิมพีแดนซ์สูงที่สุดกลาง (จุด Feed) ถ้าต้องการให้อิมพีแดนซ์ ณ จุดฟีดน้อยลง เราจะต้องฟีดที่จุดอื่น โดยเลื่อน ไปยังจุดที่มีกระแสไหลมากขึ้น รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศชนิดฟูลเวฟไดโพล จะเป็นดังรูป (ง) สังเกตว่ารูปแบบจะแตกออกเป็นหลายโลบ ทั้งนี้เนื่องมาจากการแพร่กระจายกระแสบนลวดไดโพลนั่นเอง



ถ้านำสายอากาศฮาร์ฟเวฟไดโพลมาใช้งานที่ความถี่ฮาร์โมนิกที่สามดังรูปข้างบน การแพร่กระจายกระแสบนลวดไดโพลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน เนื่องจากความยาวของไดโพลจะเป็น  $\frac{1-\lambda}{2}$  เท่าของความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ดูรูป (ก) กระแสจะมากที่สุดบริเวณจุดกลางของสายอากาศ ฉะนั้น ณ จุดฟีด(ป้อน)อิมพีแดนซ์จะมีค่าต่ำ แต่รูปแบบการแพร่คลื่นจะมีจำนวน โลบมากขึ้นไปอีก ดังรูป (ข) โดยเพิ่มเป็น โลบเล็ก ๆ 2 โลบ ทางด้านข้างของสายอากาศ

#### พาราซิติคอาร์เรย์ (Parasitic Array)

สายอากาศที่ไม่ได้ต่อเข้ากับสายนำสัญญาณแต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหรือแรงดันบนตัวมันได้ เรียกว่า “ตัวพาราซิติค (parasitic element) ดังรูปข้างล่าง ตัวพาราซิติควางห่างจากไดโพลเป็นระยะเท่ากับ  $\frac{\lambda}{4}$  ไดโพลนี้เรียกว่าตัวถูกขับ (driven element) ทั้งตัวพาราซิติคและตัวถูกขับ มีความยาวเท่ากับ  $\frac{\lambda}{2}$  จึงรีโซแนนท์ที่ความถี่ใช้งาน รูปแบบการแพร่คลื่นของตัวถูกขับ (Dipole) จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแบบบีม 2 ทาง ออกทางด้านข้างของสายอากาศ สายอากาศที่ใช้ร่วมกับตัวพาราซิติคนี้เรียกว่า “พาราซิติคอาร์เรย์”



รูป 2.20 สายอากาศชนิดฮาล์ฟเวฟไดโพล (ใช้เป็นตัวถูกขับ)

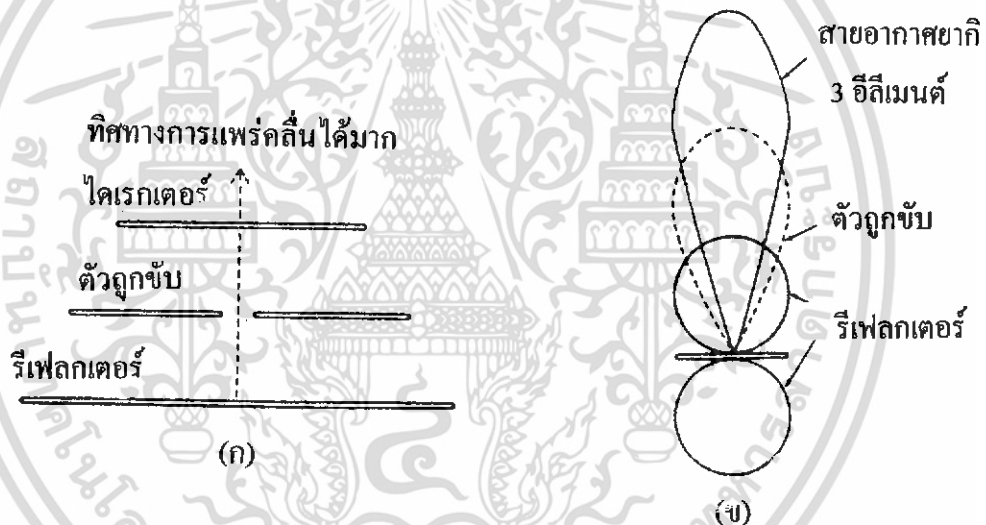
ต่อเรียงกับตัวพาราซิติคเป็นอาร์เรย์

พิจารณาการเดินทางของคลื่นเข้าสู่สายอากาศ สมมติว่าเข้ามาในทิศทางที่ถึงตัวไดโพลก่อน จะเห็นว่าคลื่นเดินทางถึงตัวพาราซิติคเป็นระยะทางแตกต่างเลยจากตัวถูกขับอยู่  $\frac{\lambda}{4}$  ฉะนั้นกว่าที่จะถึงตัวพาราซิติคเฟสของเครื่องจะเปลี่ยนไป 90 องศา พอคลื่นไปถึงตัวพาราซิติคก็เกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสบนตัวนำพาราซิติค ซึ่งมีเฟสกลับทางไปอีก 180 องศา (ตรงข้ามกับคลื่นที่ไปเหนี่ยวนำตัวมัน) กระแสที่ไหลในตัวพาราซิติคจะแพร่คลื่นออก คลื่นส่วนหนึ่งจะแพร่กลับมามาทางตัวถูกขับซึ่งต้องเดินทางเป็นระยะทาง  $\frac{\lambda}{4}$  อีก เฟสจะเลื่อนไปอีก 90 องศา รวมทั้งสิ้นเฟสจะเลื่อนไป  $90+180+90$  เท่ากับ 360 องศา คลื่นที่แพร่จากตัวพาราซิติคจึงเสริมกับคลื่นที่เดินทางมาทางด้านไดโพล ฉะนั้น การแพร่คลื่นในทิศทางที่เข้ามาทางตัวไดโพลจะดีที่สุด ทิศทางนี้เป็นด้านหน้าของสายอากาศ ตัวพาราซิติคในที่นี้ทำงานเหมือนตัวสะท้อนคลื่นจึงเรียกว่า “รีเฟลคเตอร์ (reflector)”

สำหรับทิศทางด้านหลังของสายอากาศคลื่นจะถึงตัวรีเฟลคเตอร์ก่อนถึงไดโพล ทำให้เฟสต่างกันอยู่ 90 องศา แต่คลื่นที่เหนี่ยวนำบนรีเฟลคเตอร์แพร่ไปทางไดโพลจะมีการกลับเฟส 180 องศา และเฟสส้าหลังเนื่องจากการเดินทางไปทางไดโพล อีก 90 องศา รวมแล้วเฟสของคลื่นที่เดินทางไปถึงตัวไดโพลกับคลื่นที่แพร่จากตัวรีเฟลคเตอร์จะต่างกันอยู่  $-90+180+90$  เท่ากับ 180 องศา ทำให้เกิดการหักล้างกัน ฉะนั้นการแพร่คลื่นที่ทิศทางด้านหลังจะได้มีน้อยที่สุด

รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศที่ใช้ร่วมกับตัวพาราซิติค(reflector)จะขึ้นอยู่กับปริมาณและเฟสของกระแสที่ไหลในตัวพาราซิติค กระแสที่จะได้รับการเหนี่ยวนำจากคลื่นที่มาตกกระทบตัวพาราซิติคนั้นจะขึ้นอยู่กับความยาวของตัวพาราซิติคและระยะห่างจากตัวถูกขับ โดยปกติแล้วการวัดระยะห่างของตัวรีเฟลคเตอร์มักจะอยู่ห่างจากตัวถูกขับในช่วง  $0.18 \lambda$  ถึง  $0.2 \lambda$  ส่วนความยาวของตัวรีเฟลคเตอร์มักจะยาวกว่า  $\frac{\lambda}{2}$  อีกประมาณ 5%

ตัวพาราซิติคอีกแบบหนึ่งซึ่งวางอยู่ทางด้านหน้าของสายอากาศทำงานคล้ายๆกับตัวรีเฟลคเตอร์เรียกว่า “ไดเรกเตอร์ (director)” ความยาวของไดเรกเตอร์จะสั้นกว่า  $\frac{\lambda}{2}$  (ไดโพล) ประมาณ 5% และ ไดเรกเตอร์จะอยู่ห่างจากตัวถูกขับประมาณ  $0.1\lambda$

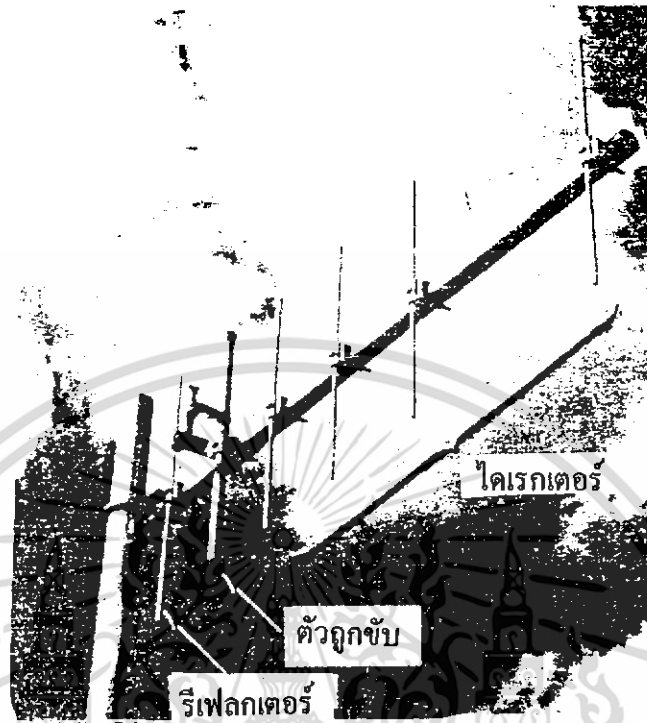


รูป 2.21 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศยาคี แบบ 3 อีลีเมนต์

สายอากาศยาคี แบบ 3 อีลีเมนต์ ประกอบด้วยตัวถูกขับและตัวพาราซิติคอีก 2 ตัว คือ ไดเรกเตอร์และรีเฟลคเตอร์ ดังในรูป (ก) ส่วนในรูป (ข) แสดงให้เห็นรูปแบบการแพร่คลื่นของตัวถูกขับ (ไดโพล) อย่างเดียว และการเสริมของรูปแบบการแพร่คลื่นของตัวรีเฟลคเตอร์กับไดเรกเตอร์ ทำให้เราได้รูปแบบโดยรวมเป็นลักษณะบีบทางเดียวและบีบวิคท์แคบลงหรือเกน(Gain)สูงขึ้น เราสามารถใช้ตัวพาราซิติคจำนวนมากขึ้นเพื่อให้เกนของสายอากาศเพิ่มขึ้น

ดังรูปด้านล่างซึ่งเป็นสายอากาศยาคี แบบ 6 อีลีเมนต์ ความถี่ใช้งาน 440 MHz วางตัวให้โพลาริเซชันแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



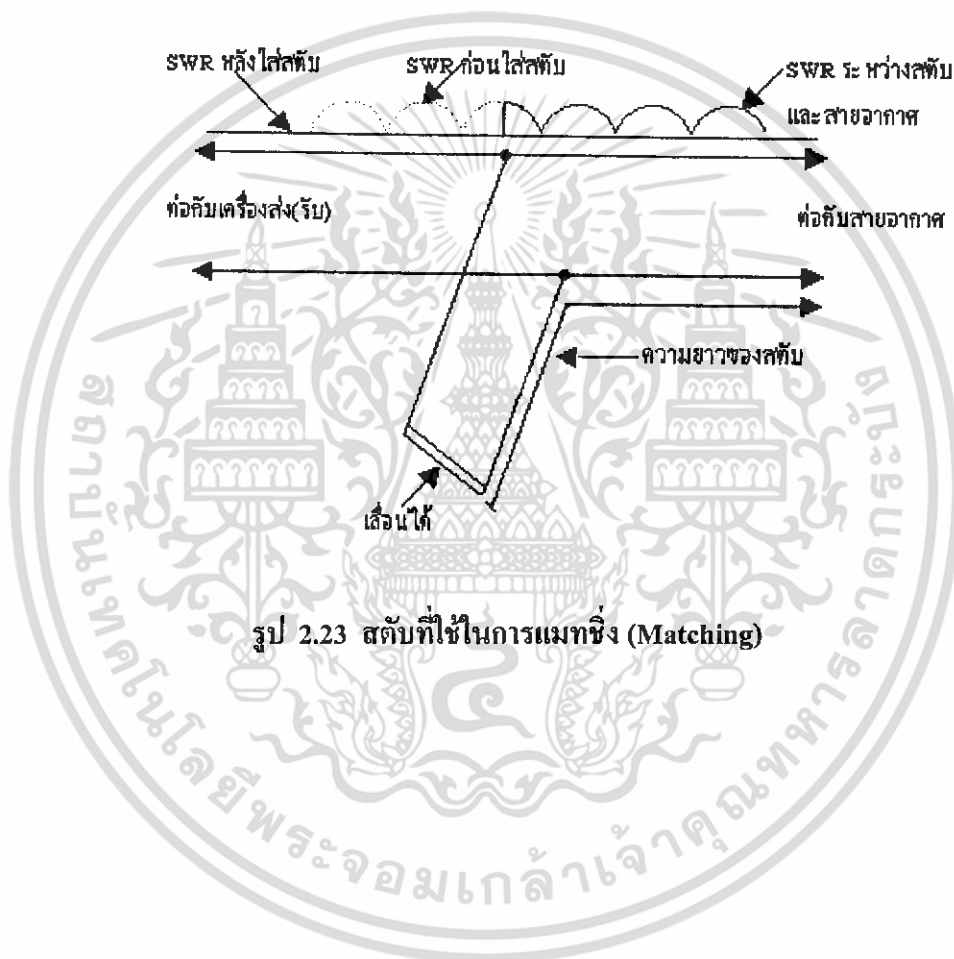
รูป 2.22 สายอากาศยาคีแบบ 6 อีลิเมนต์ ความถี่ใช้งาน 440 MHz

### 2.5 การแมตซิ่ง(Matching) ระหว่างสายนำสัญญาณกับโหลดโดยใช้สตั๊บ

เมื่อนำสายนำสัญญาณมาต่อเข้ากับโหลด (สายอากาศ) โดยที่อิมพีแดนซ์ไม่เท่ากันทำให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นสัญญาณซึ่งจะเป็นผลทำให้ค่า เอสดับบลิวาร์ (SWR : Standing Wave Ratio) ของการส่งหรือรับมีค่าสูง จะทำให้ส่วนของสัญญาณที่เป็นรีแอกติฟปรากฏขึ้นมากมาย วิธีหนึ่งที่แก้ปัญหานี้ได้ก็คือ การใช้สตั๊บ ซึ่งก็ต้องมีการหาขนาดของสตั๊บและวิธีการออกแบบ

### สตับ (STUB)

คือสายที่นำมาต่อขนานกับสายนำสัญญาณเพื่อให้อิมพีแดนซ์รวมของสายแมทซ์กันได้กับต้นกำเนิดสัญญาณหรือโหลด ถ้าพิจารณาในแง่ของการสะท้อนของคลื่น ถ้าหากไม่มีสตับ การเคลื่อนที่เหนี่ยวนำของคลื่นในสายนำสัญญาณจะเสมือนเป็นคลื่นที่ให้ค่า SWR สูง แต่เมื่อนำสตับมาต่อก็จะทำให้คลื่นในสายราบเรียบ (Flat) ดังรูปด้านล่าง



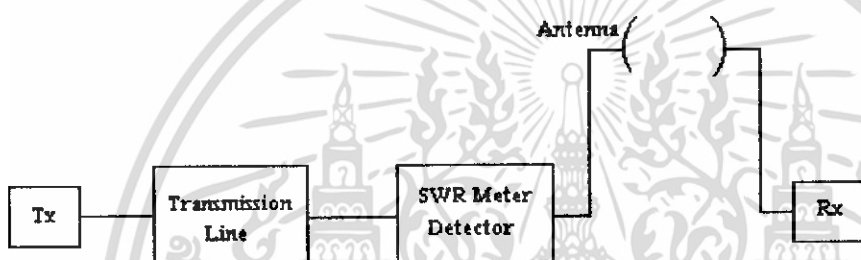
รูป 2.23 สตับที่ใช้ในการแมทซ์ (Matching)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

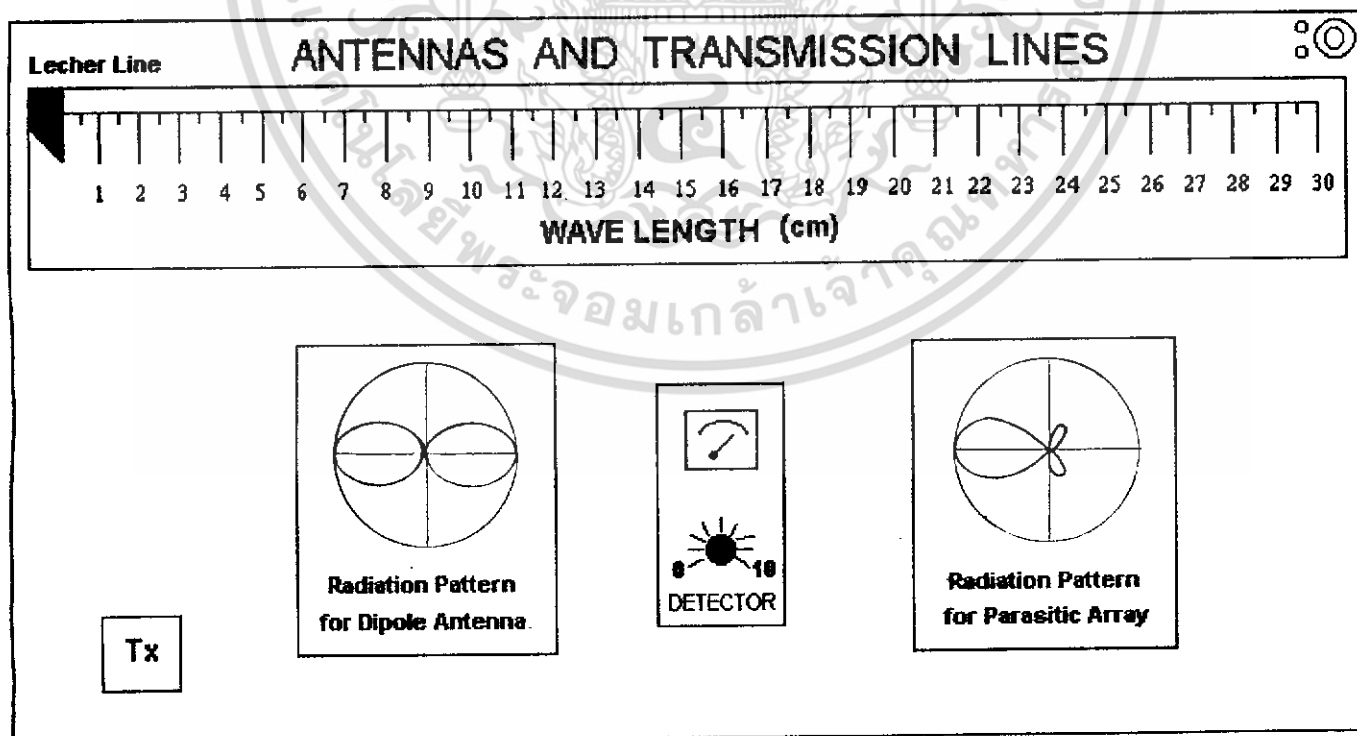
## 2.6 ทฤษฎีและโครงสร้างฮาร์ดแวร์ (Hard Ware)

### ฮาร์ดแวร์ของชุดทดลองประกอบด้วย

1. เครื่องส่ง (Transmitter)
2. สายนำสัญญาณ (Transmission Line) และสตัป (Stub)
3. สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna) และสายอากาศพาราซิติกอาร์เรย์ (Parasitic Array Antenna)
4. เครื่องรับ (Field Strength Meter) ซึ่งแสดงคังบีสีกโคอะแกรมคังรูป 2.24

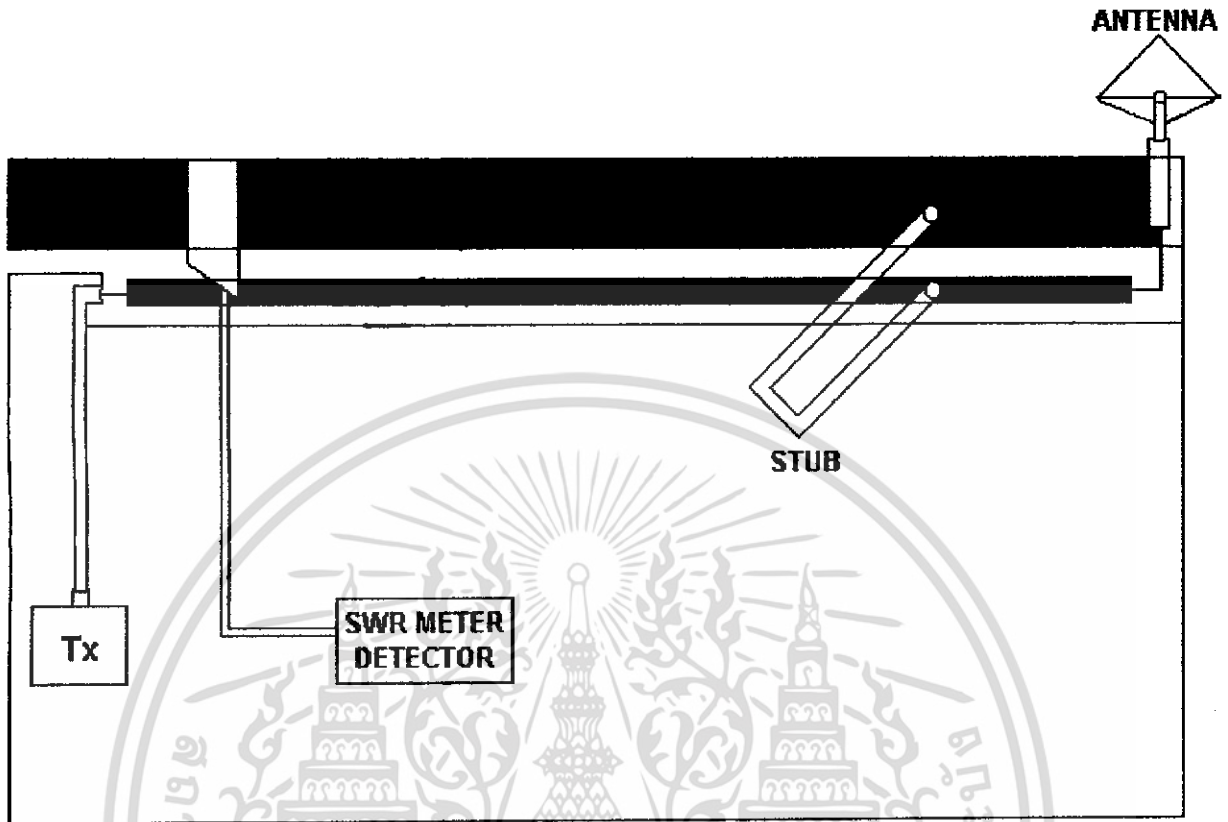


รูป 2.24 Block Diagram ของชุดทดลอง



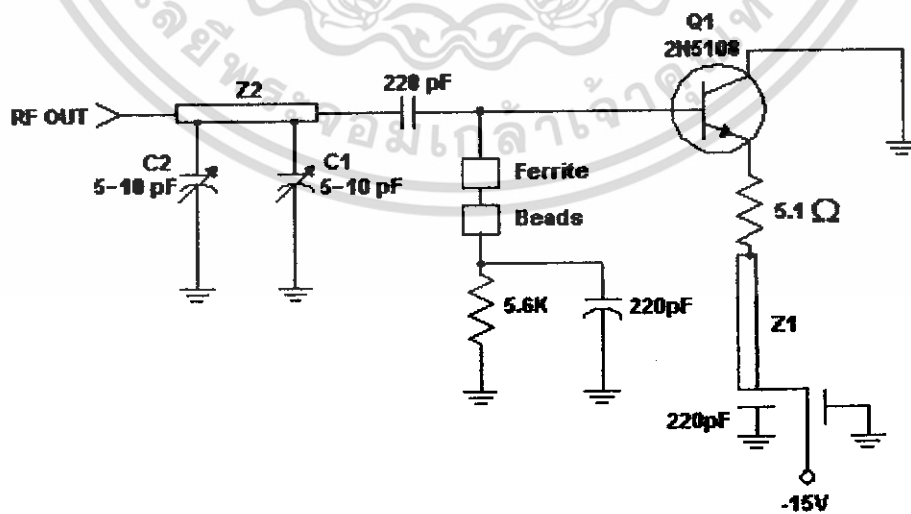
รูป 2.25 แสดงแผงด้านหน้าของชุดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.26 แสดงด้านหลังของชุดทดลอง

เครื่องส่ง (Transmitter)



รูป 2.27 แสดงวงจร UHF Transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.27 แสดงวงจรของเครื่องส่ง ซึ่งทำงานที่ย่านความถี่ 800-900 MHz และมีกำลังส่งน้อยกว่า 100 mw ใช้ไฟป้อน -15 Volts

เครื่องส่งจะมีสตริปไลน์ (Strip Line) 2 เส้น ที่มีอิมพีแดนซ์คือ  $Z_1$  และ  $Z_2$  ค่าความถี่ของเครื่องส่งปรับได้โดยคาปาซิเตอร์  $C_1$  เพื่อปรับอิมพีแดนซ์  $Z_2$  และคาปาซิเตอร์  $C_2$  ใช้ปรับความถี่สายอากาศและเครื่องส่งให้แมทซ์กัน อย่างไรก็ตามทั้งคาปาซิเตอร์  $C_1$  และ  $C_2$  จะมีผลต่อความถี่ของเครื่องส่ง

ถ้ามองไปที่ตัวเครื่องส่งรูด้านข้างด้านบนจะเป็น  $C_1$  และรูด้านข้างด้านล่างจะเป็น  $C_2$  ซึ่งใช้ไขควงปรับให้ความถี่สูงสุดได้ 860 MHz ซึ่งความถี่ของสายอากาศแต่ละแบบจะใช้อ้างอิงในการหาความถี่เครื่องส่งเพื่อให้แมทซ์กันได้ ถ้าสายอากาศหลาย ๆ ชนิดที่ใช้ความถี่ต่างกัน เราจำเป็นต้องปรับความถี่ของเครื่องส่งที่  $C_1$  และ  $C_2$  เพื่อให้แมทซ์กับสายอากาศแต่ละแบบ

สายนำสัญญาณ (Transmission Line)

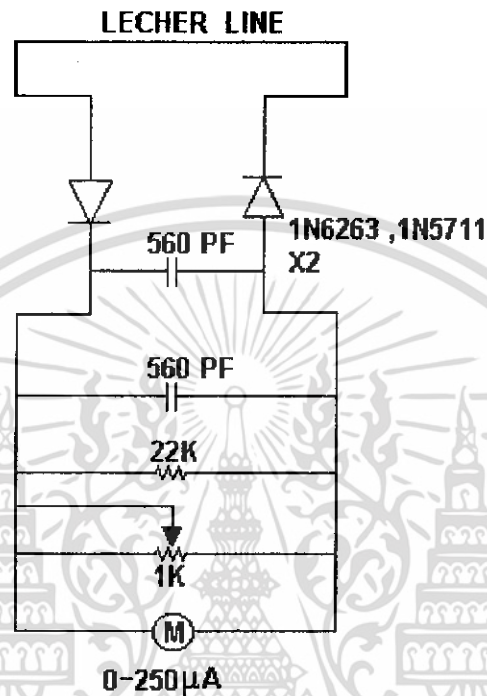
เป็นแผ่นทองแดงที่ขนานกับกราวด์ซึ่งคำนวณหาความยาวโดยใช้สูตร

$$\lambda = \frac{30 * VC}{f_{(GHz)}} \quad (\text{cm})$$

$$= \frac{30 * 0.866}{0.860}$$

∴ สายนำสัญญาณจะมีความยาวประมาณ 30 cm ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความถี่ที่เราต้องการใช้งานกับค่า Velocity Factor ซึ่งตัวกลางแต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน

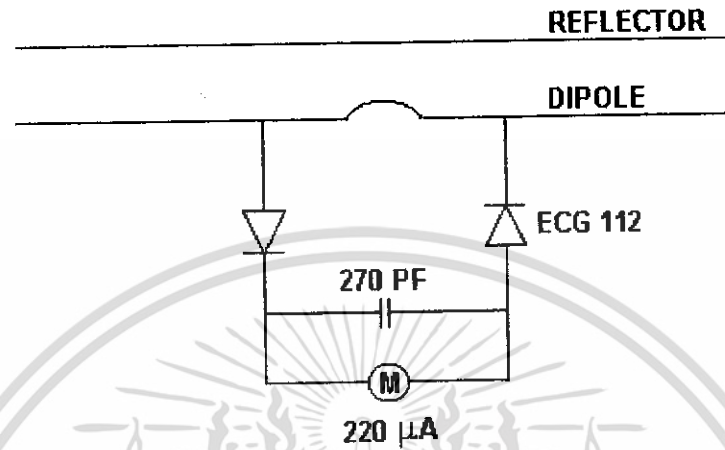
## SWR METER DETECTOR



รูป 2.28 วงจร SWR METER DETECTOR

วงจร SWR METER DETECTOR จะทำการตรวจจับคลื่นนิ่ง (Standing Wave) ที่เกิดขึ้นบนสายนำสัญญาณ ซึ่งเมื่อทำการทดสอบทั้งปลายเปิด ปลายปิด และต่อด้วยโหลด SWR METER DETECTOR นี้จะตรวจจับคลื่นนิ่งได้ทั้งสามกรณีซึ่งจะมีค่า SWR ต่างกัน ในวงจรนี้จะตรวจจับในรูปกระแสซึ่งจะควบคุมให้กระแสมีค่ามากหรือน้อยที่ผ่านมิเตอร์ได้ โดยปรับตัวต้านทานปรับค่าได้ 1 K ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ จะกล่าวต่อไปในเรื่องของการทดสอบ

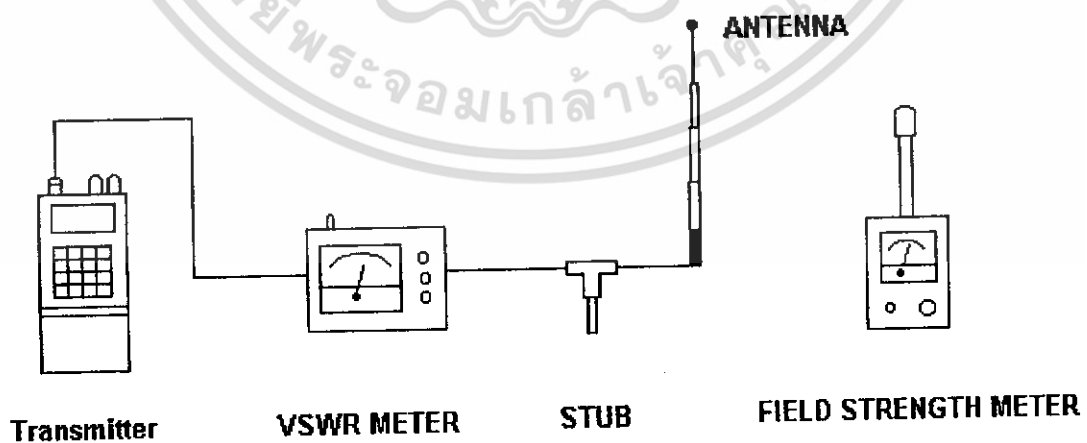
## FIELD STRENGTH METER



รูป 2.29 แสดงวงจร FIELD STRENGTH METER

จากรูป 2.29 แสดง Field Strength Meter และสายอากาศรับที่ต่ออยู่กับไดโอดความถี่สูงและไมโครแอมมิเตอร์ Field Strength Meter นี้ จะใช้วัดความแรงของสัญญาณ RF ที่ส่งมาจากเครื่องส่งผ่านสายอากาศส่ง ว่ารับสัญญาณได้มากน้อยแค่ไหน รายละเอียดจะกล่าวต่อไปในการทดสอบหารูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) ของสายอากาศแต่ละแบบ

### 2.7 ทฤษฎีและโครงสร้างทางฮาร์แวร์ของชุดที่ใช้งานจริง



รูป 2.30 แสดงโครงสร้างทั้งหมดของชุดที่ใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องส่ง (Transmitter)

ใช้เครื่องส่งวิทยุสื่อสารย่านความถี่ 144 – 146 MHz กำลังส่งไม่เกิน 20 วัตต์

### VSWR METER

VSWR METER คือวงจรที่ทำหน้าที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกำลังไฟฟ้าของคลื่นที่ส่งเข้าไป (forward power) และคลื่นที่สะท้อนกลับ (Reflected Power) แล้วแสดงค่าความสัมพันธ์นี้ออกมาเป็นค่า SWR บนหน้าปัดของมิเตอร์โดยทั่วไป จะถูกออกแบบมาให้อ่านค่ากำลังไฟฟ้าของคลื่นที่ส่งเข้าไป และคลื่นที่สะท้อนกลับแยกออกจากกันได้ด้วย

วงจรสมมูลของ VSWR METER แสดงได้ดังรูป 2.31 วงจรนี้จะถูกนำไปต่อขวาระหว่างสายอากาศและเครื่องรับ / ส่งวิทยุ สัญญาณจากเครื่องส่งวิทยุจะเข้าทาง  $J_1$  และออกไปหาสายอากาศทาง  $J_2$   $L_1$  เป็นสายนำสัญญาณ 50 โอห์ม ซึ่งทำจากสายทองแดงแคบ ๆ กว้างประมาณ 2.8 มิลลิเมตร บนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้าชนิดอีพ็อกซีไฟเบอร์กลาสหนาประมาณ  $\frac{1}{16}$  นิ้ว วิ่งขนานกับกราวด์เพลน ซึ่งทำจากแผ่นทองแดงอีกด้านหนึ่ง  $L_2$  และ  $L_3$  เป็นสายทองแดงที่วิ่งขนานกับ  $L_1$  เพื่อใช้เหนี่ยวนำให้ได้แรงดันไฟสลับซึ่งสัมพันธ์กับขนาดกำลังไฟฟ้าของคลื่นสะท้อนกลับและคลื่นที่ป้อนเข้าที่ปรากฏใน  $L_1$  ตามลำดับ

ปลายด้านหนึ่งของ  $L_2$  และ  $L_3$  ต่อเข้ากับตัวต้านทานปรับค่าได้  $VR_1$  และ  $VR_2$  ตามลำดับ ซึ่งจะต้องปรับค่าทั้งสองตัวนี้ให้แมตซ์พอดีกับอิมพีแดนซ์ที่เกิดขึ้นจริงของสายนำสัญญาณ  $L_2$  และ  $L_3$  ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  และตัวเก็บประจุ  $C_1$  และ  $C_2$  เพื่อแปลงแรงดันไฟสลับที่เหนี่ยวนำมาได้ให้ออกมาเป็นแรงดันไฟตรงที่เรียบขึ้น และมีตัวต้านทานต่ออนุกรมอยู่อีกหลายตัว เพื่อแปลงแรงดันนี้ให้ออกมาเป็นกระแสไฟปรากฏที่มิเตอร์  $M_1$  เนื่องจากค่ากระแสที่  $M_1$  ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังไฟฟ้าของคลื่นวิทยุที่วิ่งผ่าน  $L_1$  ดังนั้นเมื่อปรับสเกลของ  $M_1$  ใหม่ก็ทำให้สามารถอ่านค่ากำลังไฟฟ้าของคลื่นที่ป้อนเข้าและคลื่นสะท้อนกลับได้ อย่างไรก็ตามทั้ง  $L_1, L_2$  และ  $L_3$  ต่างก็ไวต่อความถี่มาก พอความถี่เปลี่ยนไปค่ากระแสที่  $M_1$  ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จึงมีความถูกต้องเฉพาะในย่านความถี่ที่ทำการปรับแต่งสเกลของมิเตอร์เท่านั้น ซึ่งในกรณีนี้คือ ใช้ได้เฉพาะย่าน 145 MHz (144-146 MHz) เท่านั้น ยิ่งต่างจากความถี่นี้มากขึ้น กำลังไฟฟ้าที่อ่านได้ก็จะยิ่งผิดพลาดมากขึ้นแต่ก็ยังพอใช้เพียงเพื่อเปรียบเทียบได้อยู่

สวิตช์  $S_1$  ทำหน้าที่เลือกจะให้  $M_1$  แสดงค่ากำลังไฟฟ้าของคลื่นที่ป้อนเข้าหรือคลื่นสะท้อนกลับ  $S_2$  ใช้เลือกจะให้ขนาดกำลังไฟฟ้าเต็มสเกลของ  $M_1$  เป็นเท่าไรในที่นี้ออกแบบให้แกว่งเต็มสเกล 2 วัตต์ที่ตำแหน่ง LOW และ 20 วัตต์ที่ตำแหน่ง HIGH โดยมี  $VR_3$  ไวคอยปรับแต่งให้  $M_1$  ชี้เต็มสเกลพอดีที่ 2 วัตต์ และมี  $VR_4$  ไวคอยปรับให้ชี้เต็มสเกลพอดีที่ 20 วัตต์

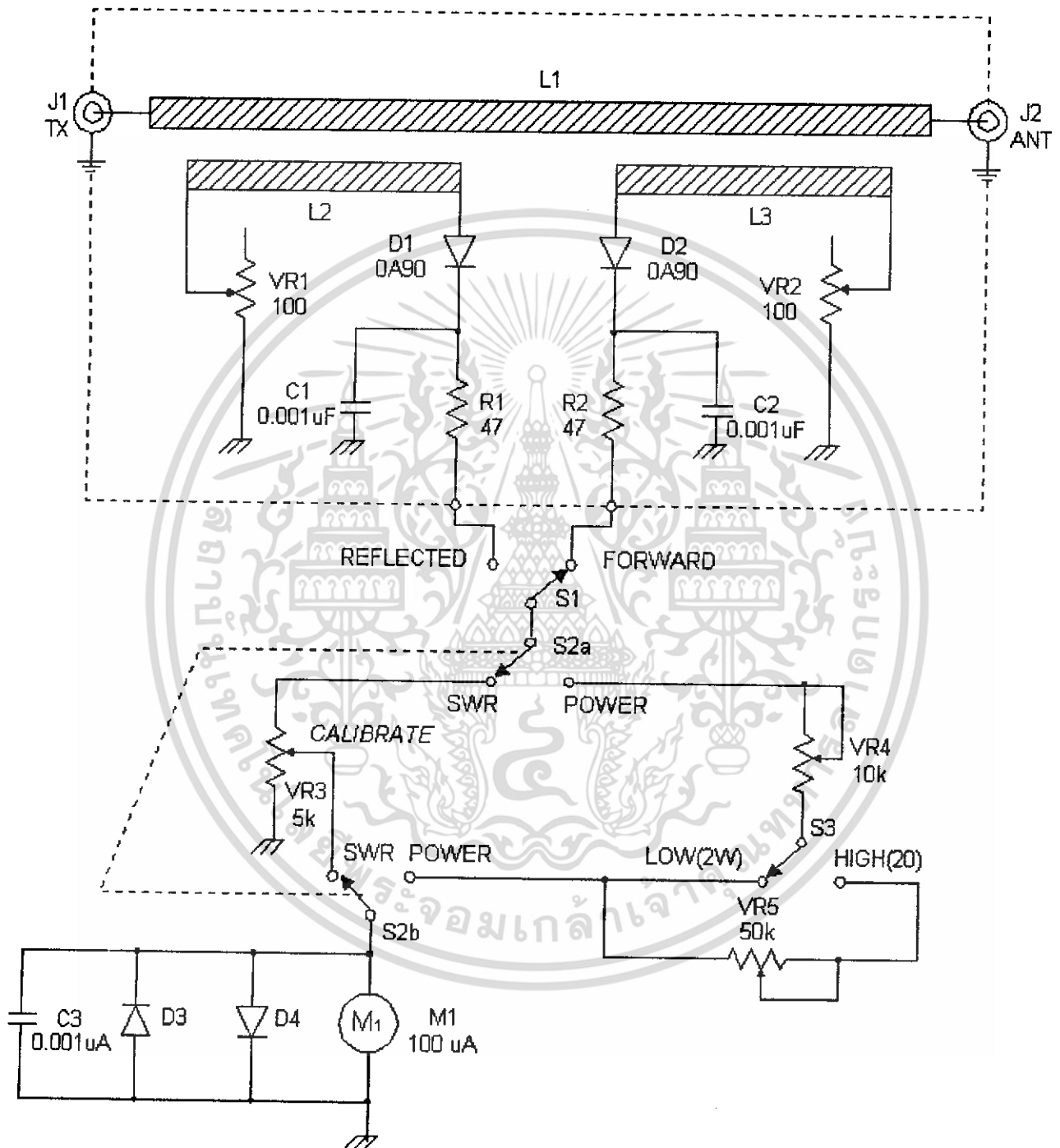
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสวิตช์  $S_2$  ไว้ใช้เลือกจะให้ VSWR METER อ่านค่ากำลังไฟฟ้าหรืออ่านค่า SWR เมื่ออยู่ในตำแหน่ง SWR จะต้องหมุน  $VR_3$  ซึ่งอยู่บนหน้าปัดเครื่องให้เข็มชี้เต็มสเกลพอดี ในขณะที่  $S_1$  อยู่ที่ตำแหน่งฟอร์เวิร์ด เมื่อโยกสวิตช์  $S_1$  กลับมาที่ตำแหน่งรีเฟลกเท็คเต็มของ  $M_1$  ก็จะแสดงว่าคลื่นสะท้อนกลับมีค่าเป็นสัดส่วนเท่าไรเมื่อเทียบกับคลื่นที่ป้อนเข้าซึ่งถูกปรับให้เต็มสเกลทุกครั้งที่ทำการวัดค่า SWR ดังนั้นเมื่อเราปรับแต่งสเกลให้แปลงค่าสัดส่วนนี้ออกมาเป็นค่า SWR เข็มของ  $M_1$  ก็จะแสดงค่า SWR ออกมาได้

$R_1$  และ  $R_2$  ต่ออนุกรมไว้เพื่อคอยจำกัดกระแสผ่าน  $M_1$  ไม่ให้มากเกินไปในขณะที่ปรับ  $VR_3, VR_4$  และ  $VR_5$

$D_3$  และ  $D_4$  ทำหน้าที่ป้องกันมิเตอร์  $M_1$  ไม่ให้เสียหายจากกระแสไหลเกินเนื่องจากความผิดพลาดต่าง ๆ ในขณะที่สร้างหรือปรับแต่ง  $C_3$  ต่อคร่อมที่ขั้ว  $M_1$  เลย เพื่อลดวงจรพวกคลื่นวิทยุที่ไม่ต้องการซึ่งอาจเหนี่ยวนำเข้ามาตามสายต่อต่าง ๆ ไม่ให้มามีผลรบกวนการทำงานของ  $M_1$

ส่วนที่อยู่บนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า



รูป 2.31 แสดงวงจรสมรณะของ VSWR METER สำหรับย่านความถี่ 145 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

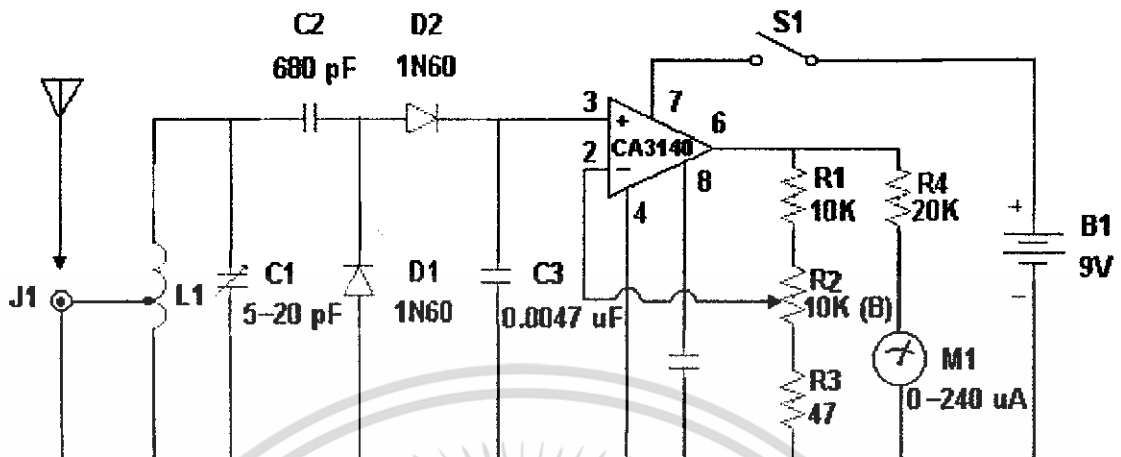
### เครื่องวัดความแรงคลื่นวิทยุ (Field Strength Meter)

เครื่องวัดความแรงคลื่นวิทยุก็คือ เครื่องรับวิทยุขนาดเล็กเครื่องหนึ่ง ที่มีมิเตอร์แสดงค่าความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุรับได้ แสดงดังในรูปที่ 2.32 วงจรประกอบด้วยไอซีออปแอมป์ชนิดไบมอส เบอร์ CA3140 เหตุที่ใช้ไอซีเบอร์นี้แทนที่จะใช้เบอร์ทั่วๆ ไปอย่าง 741 เนื่องจากข้อดี 3 ประการคือ ประการแรกเป็นไอซีที่ออกแบบมาให้ใช้งานได้ดีกับไฟเลี้ยงชุดเดียวจึงใช้งานสะดวกยิ่งขึ้นและสามารถขยายสัญญาณขนาดต่ำมาก ๆ ได้ดี ประการที่สองคือมีอัตราขยายสูงกว่า ประการที่สามคือ มีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก จึงไม่ไปโหลดวงจรจูนและวงจรดีเทคเตอร์

วงจรมีนำสัญญาณเข้าจากสายอากาศมาป้อนเข้าแทปกลางของขดลวด  $L_1$  เพื่อให้สายอากาศสำหรับเครื่องรับ / ส่งวิทยุมือถือซึ่งมีอิมพีแดนซ์ต่ำไม่ไปโหลดวงจรจูน ซึ่งประกอบด้วย  $L_1$  และ  $C_1$  มากนัก ค่าของ  $L_1$  และ  $C_1$  นี้ได้รับการออกแบบมาให้สามารถปรับแต่งความถี่กลางในย่าน 144-146 MHz ได้อย่างสบาย  $C_2, C_3, D_1$  และ  $D_2$  ประกอบกันเป็นวงจรดีเทคเตอร์แบบทวีแรงดันเพื่อแปลงสัญญาณคลื่นวิทยุที่เป็นไฟสลับให้มาเป็นสัญญาณไฟตรงที่มีขนาดแปรตามความแรงของคลื่นวิทยุ  $D_1$  และ  $D_2$  ที่ใช้เป็นไดโอดชนิดเยอรมันเนียม ซึ่งมีแรงดันตกคร่อมตัวมันต่ำเพียงประมาณ 0.25 โวลต์เท่านั้น จึงทำให้สัญญาณผ่านออกไปได้มากกว่าการใช้ไดโอดชนิดซิลิกอน ช่วยให่วงจรมีความไวเพิ่มขึ้น

IC<sub>1</sub> ถูกต่อเป็นวงจรขยายแบบ นอนอินเวอร์ตติ้ง(Non Inverting) คือให้การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุตมีขนาดและทิศทางสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุต สัญญาณจะเข้าทางขา 3 ซึ่งเป็นอินพุตขั้วบวกของ IC<sub>1</sub> และออกไปทางขา 6  $R_1, R_2$  และ  $R_3$  เป็นส่วนป้อนกลับแบบลบซึ่งนำสัญญาณเอาต์พุตส่วนหนึ่งป้อนกลับมาเข้าทางขา 2 ดังนั้นการเลื่อนแกนหมุนของ  $R_2$  จึงเป็นการปรับอัตราขยายของวงจร ซึ่งก็เป็นการปรับความไว (Sensitivity) ของเครื่องนั่นเอง ตามอุปกรณ์ที่ให้ไว้นี้จะสามารถปรับอัตราขยายได้จากประมาณ 2 เท่า ถึง 427 เท่า เมื่อไม่มีสัญญาณเข้ามาทางสายอากาศ แรงดันที่ขา 6 จะเป็นศูนย์ ทำให้ไม่มีกระแสไหลไปเข้ามิเตอร์  $M_1$  เข็มของ  $M_1$  จึงยังชี้ที่ศูนย์ แสดงว่ายังไม่มีสัญญาณเข้ามา

$M_1$  เป็นมิเตอร์มีค่ากระแสเต็มสเกลประมาณ  $240\mu A$  และมีค่าความต้านทานภายในประมาณ 980 โอห์ม ดังนั้นเมื่อมีตัวต้านทาน  $R_4$  มาต่ออนุกรมเข้าไปทำให้มิเตอร์  $M_1$  มีค่าเต็มสเกลเมื่อแรงดันที่ขา 6 มีค่าประมาณ 5 โวลต์ ส่วนตัวเก็บประจุ  $C_4$  ที่ต่อกับขา 8 ของ IC<sub>1</sub> นั้นมีไว้เพื่อให้แรงดันเอาต์พุตตกลงเป็นศูนย์ได้ ในภาวะที่ยังไม่มีสัญญาณเข้ามาเป็นกิจจะลักษณะ และทำให้การแกว่งของเข็มมีม่นวลขึ้นเมื่อมีสัญญาณแรง ๆ เข้ามา



รูป 2.32 วงจรของเครื่องวัดความแรงคลื่นวิทยุย่านความถี่ 144-146 MHz

## 2.8 การคำนวณหาตำแหน่งและความยาวของสตัดโดยใช้โปรแกรม Z-MATCH

ชุดทดลอง

สายอากาศพาราซีติกอาเรีย

$$f = 864.375 \text{ MHz}$$

$$\text{Impedance} = 53.482 + j15 \ \Omega$$

$$Z_0 = 50 \ \Omega$$

$$\text{SWR} = 1.35:1$$

ลำดับขั้นการคำนวณ

1. คลิกเมนู Display เลือก Parameter แล้วใส่ค่า  $Z_0 = 50$  โอห์ม ความถี่ 864.375 MHz และ velocity factor 1.0
2. คลิกเมนู Locate Point Z เพื่อใส่ค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ  $53.482 + j15$
3. เลือกเมนู Network เพื่อ Set ZL
4. คลิกเมนู Circle เลือก Unity เป็นการแสดงวงกลมยูนิตีคอนคัคแทนซ์
5. คลิกปุ่ม Const SWR ให้ปรากฏขณะทำการหาความยาว L1 คือระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่จะต่อสตัดกับสายอากาศ
6. ทำการเลื่อนเคอร์เซอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาบนวงกลม SWR จนกระทั่งเคอร์เซอร์มาตัดกับวงกลมยูนิตีคอนคัคแทนซ์ก็จะได้ค่า  $L1 = 81.28 \text{ mm}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ที่จุดตัดนี้คือจุดที่จะต่อสตัด ทำการดับเบิ้ลคลิกบนเคอร์เซอร์ เพื่อทำเครื่องหมาย X1 ซึ่งจุดนี้จะตรงกับอิมพีแดนซ์ที่ปลายความยาวของ L1 คือสาย 50 โอห์ม ที่ความถี่ 864.375 MHz โดยมองเข้าหาสายอากาศ
  8. ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์สามารถเปลี่ยนเป็น 50 โอห์มได้โดยการต่อสตัดขนานเข้าไปที่จุด X1 นี้ โดยเลือกคลิกปุ่ม Y Chart และเลือก Const G
  9. เลื่อนเคอร์เซอร์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาไปยังจุดศูนย์กลางของชาร์ทก็จะได้อินดักแตนซ์ 31.228 nH ของสตัด ที่จุดศูนย์กลางนี้ให้ทำเครื่องหมาย S1 ไว้
  10. คูเอนเนอรัลแลคเคอร์เน็ทเวิร์ค โดยคลิกเมนูเน็ทเวิร์คเลือก Display ก็จะได้วงจรงดรูป
  11. ในการหาค่า L2 คือความยาวของสตัด จะต้องลบค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเสียก่อน โดยออกจากเมนู Network แล้วคลิกเมนู Trace เลือก Undo All แล้วเลือก Mode Impedance Click ปุ่ม Z Chart / Y Chart ต่อไป Click เมนู Locate Point Z และใส่ค่า Resistance 0 โอห์มและ Reactance 0 โอห์ม
  12. หากความยาวของสตัด โดยเลือกปุ่ม Constant SWR แล้วเลื่อน Cursor ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจนให้ได้ค่าอินดักแตนซ์ 31.228 nH ที่ Meter Toward Generator ก็จะบอกค่าความยาวสตัด 71 มิลลิเมตร
- จากรูปวงจรถูกจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการต่อสตัดเข้าไปแล้วค่า SWR จะลดลงจากเดิม 1.35:1 เหลือ 1.008 : 1 ซึ่งเป็นการแมทชิงพอดดี

Admittance - mS:

0.0000 +j0.0000

0.0000 +j0.0000

Resistive

SWR = 1.01

Q Factor = 0.00

Ref. Coef. = 0.00

Angle = -152.4 Deg

Metres towards:

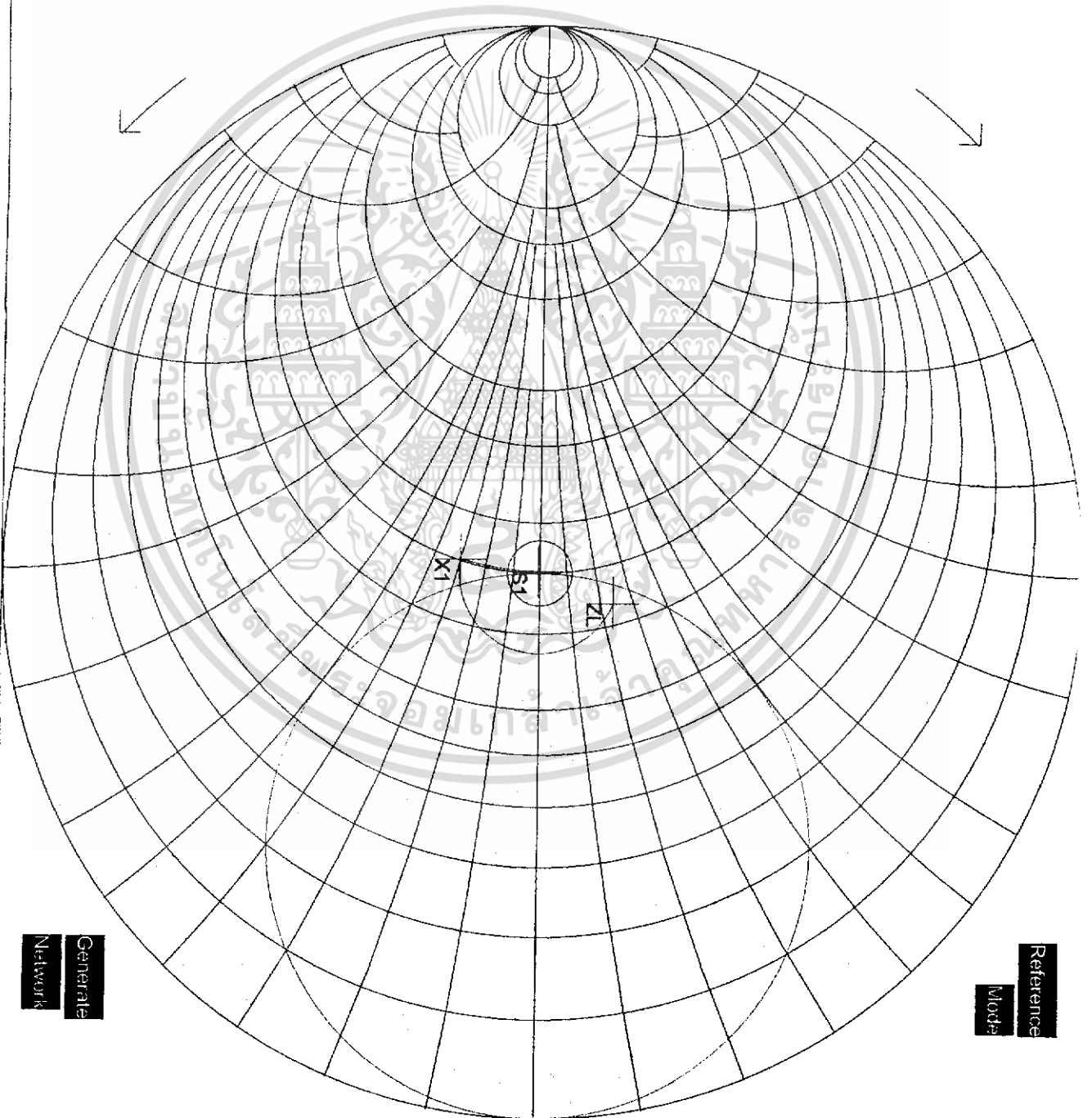
Generator = 0.0000

Load = 0.0000

Zo 50 Ohm

Frequency 864.4 MHz

Dielectric Constant 1.00



Reference Mode

Generate Network

รูปที่ 2.33 สมบัติชาร์ตแสดงตำแหน่งสลับของสายอากาศพาราซิติกอาร์เรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impedance-Ohms:

0.0311 +j169.20

0.0006 +j3.3841

L = 31.155 nH

SWR = >100

Q Factor = >100

Ref. Coef. = 1.00

Angle = 32.924 Deg

Meters towards:

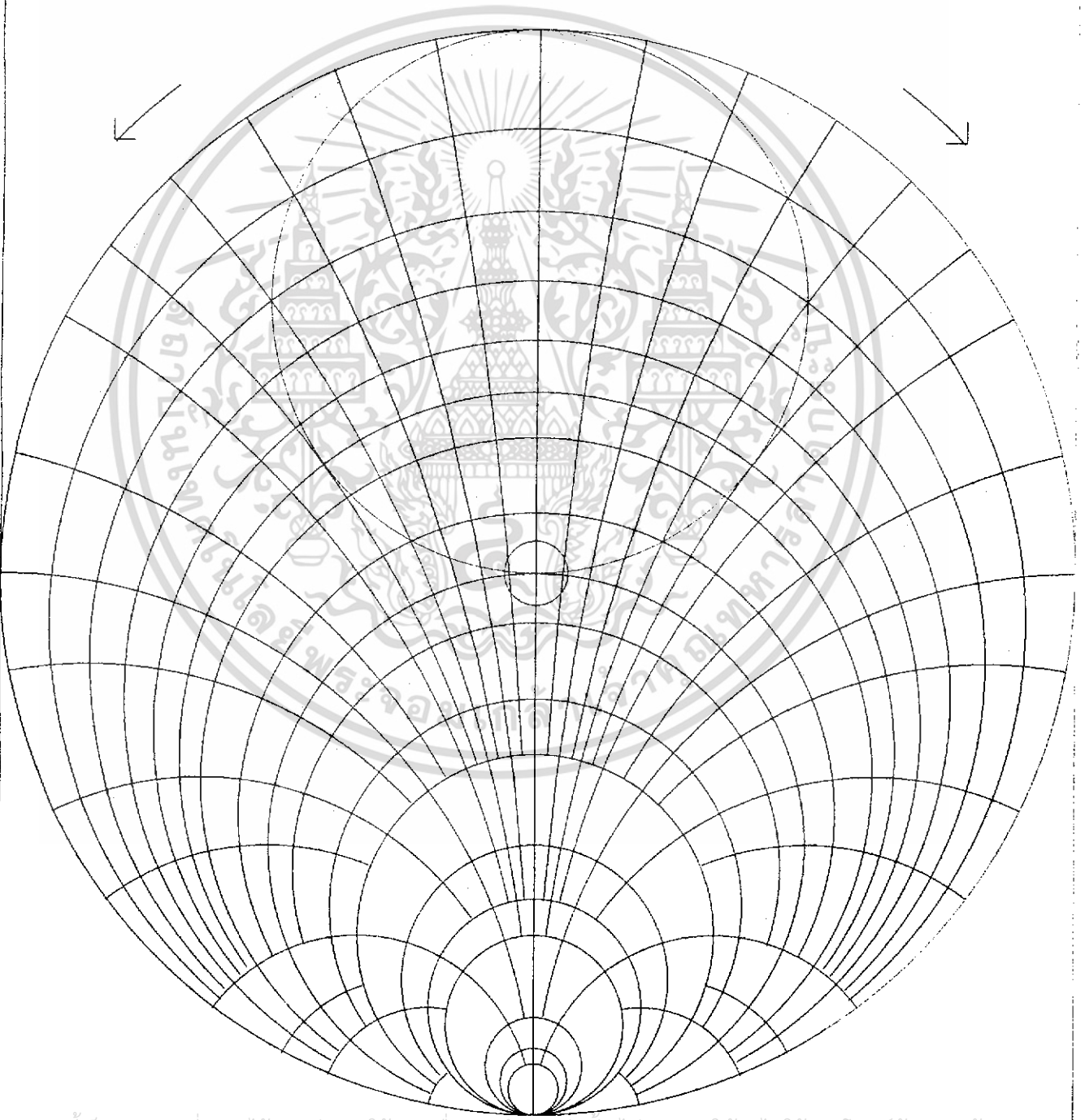
Generator = 0.0708

Load = 0.1026

Zo 50 Ohm

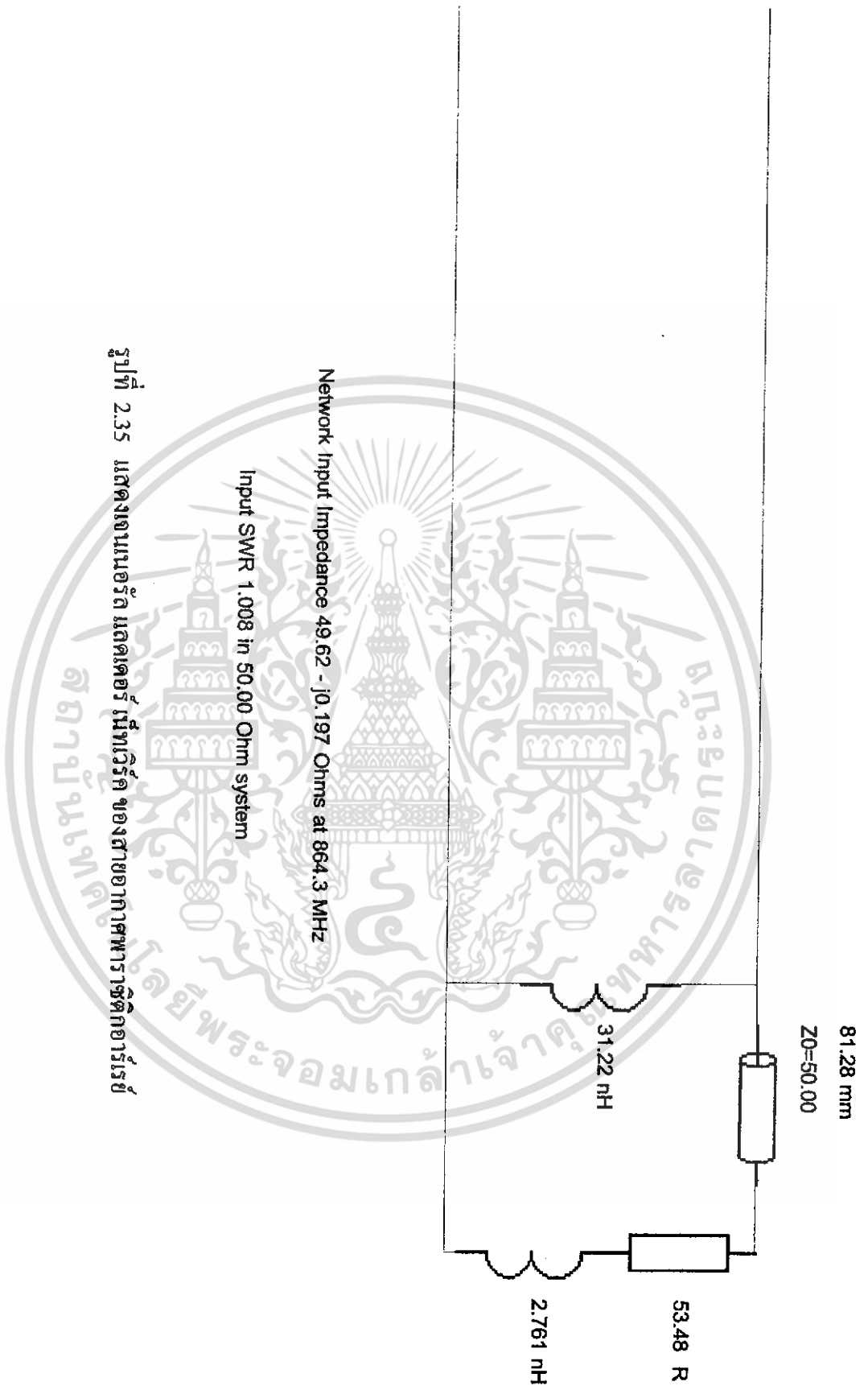
Frequency 864.4 MHz

Dielectric Constant 1.00



รูปที่ 2.34 สมบัติทางคณิตศาสตร์ของสายอากาศพาราไซติกฮอร์น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 แสดงงานนอร์มัลไลซ์ของสายอากาศวิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สายอากาศฮอร์นตัดไดโพล

$$f = 715.125 \text{ MHz}$$

$$\text{Impedance} = 53.033 - j6053 \ \Omega$$

$$Z_0 = 50 \ \Omega$$

$$\text{SWR} = 1.15 : 1$$

การคำนวณหาตำแหน่งที่จะต่อสตัดและความยาวของสตัดโดยใช้โปรแกรม Z-MATCH ได้ผลดังนี้

ตำแหน่งที่จะต่อสตัดห่างจากสายอากาศ  $L1 = 19.55 \text{ mm.}$

ความยาวของสตัด  $L2 = 95.8 \text{ mm.}$

ค่าอินดักแตนซ์ของสตัด  $= 81.847 \text{ nH}$

เมื่อทำการต่อสตัดแล้ว ค่า SWR จะลดลงจากเดิม 1.15 : 1 เหลือ 1.004 : 1 ซึ่งเป็นการเมทชิงพอดี ซึ่งพิจารณาได้จากสมิตชาร์ตและวงจรประกอบ

Admittance - mS:

0.0000 +j0.0000

0.0000 +j0.0000

Resistive

SWR = 1.00

Q Factor = 0.00

Ref. Coef. = 0.00

Angle = -122.1 Deg

Meters towards:

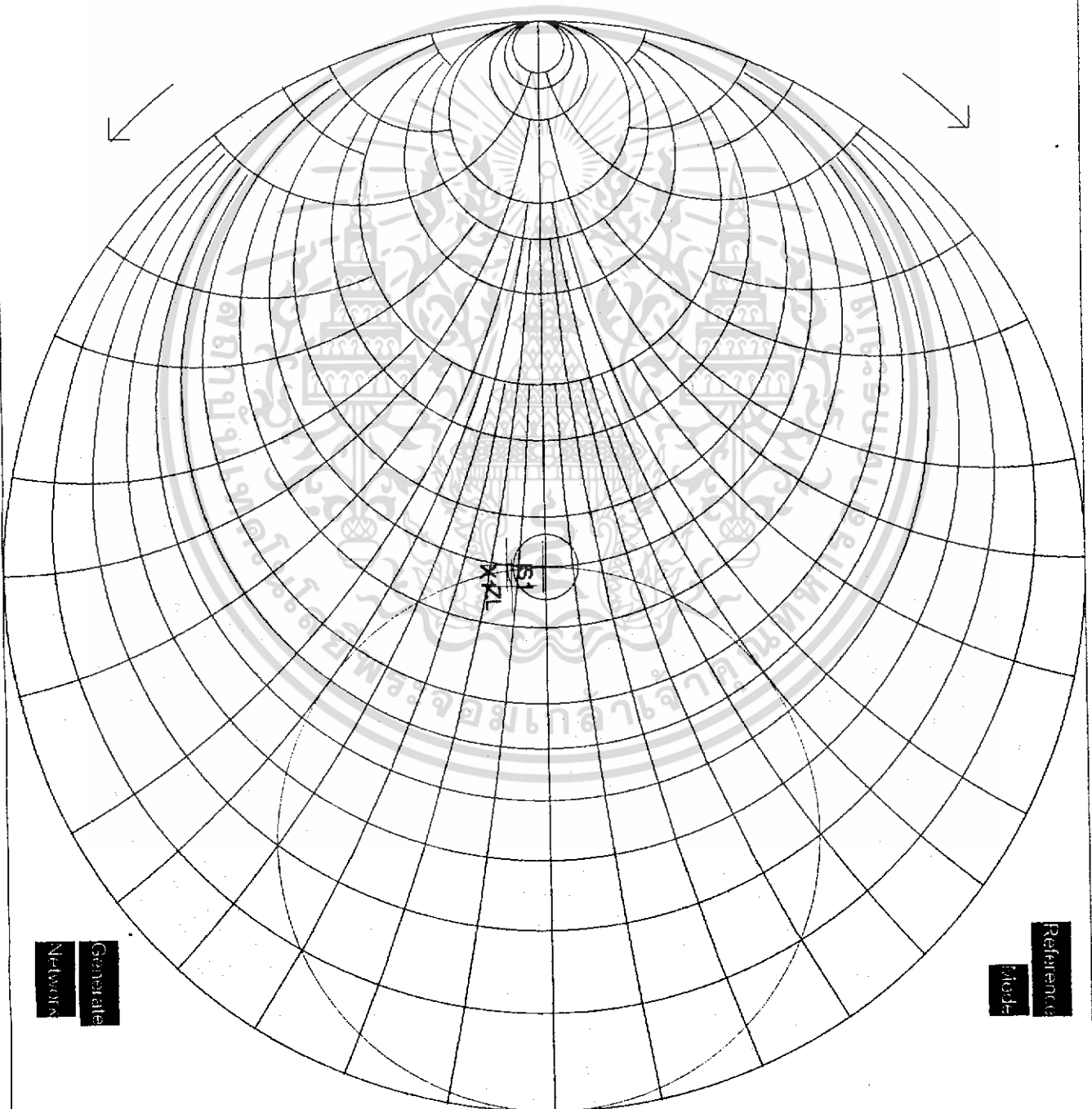
Generator = 0.0000

Load = 0.0000

Zo 50 Ohm

Frequency 715.1 MHz

Dielectric Constant 1.00



Reference  
Smith

Generate  
Network

สงวนลิขสิทธิ์และสงวนตำแหน่งลิขสิทธิ์ของสายอากาศฮอร์นตัดโคโทด

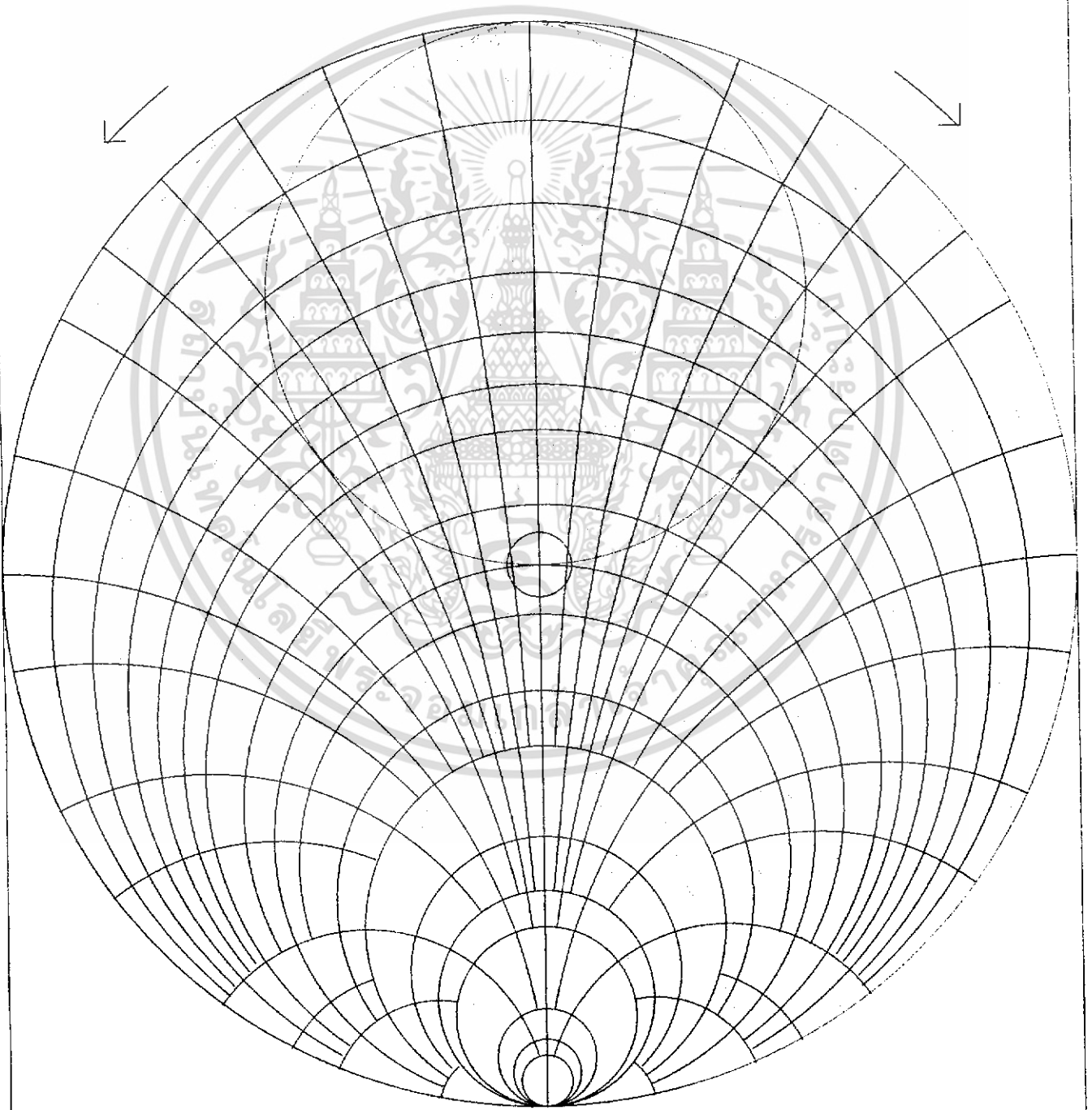
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impedance-Ohms:  
 0.1379 +j368.06  
 0.0027 +j7.3613  
 L = 81.915 nH

SWR = >100  
 Q Factor = >100  
 Ref. Coef. = 1.00  
 Angle = 15.472 Deg

Metros towards:  
 Generator = 0.0958  
 Load = 0.1138

Zo 50 Ohm  
 Frequency 715.1 MHz  
 Dielectric Constant 1.00



รูปที่ 2.37 สมบัติการวัดค่าความยาวสายของสายอากาศฮอร์นชนิดโคโพล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่มีการแก้ไขทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แบบสงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Network Input Impedance 49.87 - j0.199 Ohms at 715.1 MHz

Input SWR 1.004 in 50.00 Ohm system

รูปที่ 2.38 แสดงงานมอริล แลตเตอร์ เบ็ทวิริค ของสายอากาศสองขั้วในคลื่น ๒ โฟลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{สายอากาศ } \frac{5\lambda}{8}$$

$$f = 136.125 \text{ MHz}$$

$$\text{Impedance} = 252.33 - j50.123 \ \Omega$$

$$Z_0 = 50 \ \Omega$$

$$\text{SWR} = 5.25 : 1$$

การคำนวณหาตำแหน่งที่จะต่อสตั๊ปและความยาวของสตั๊ปโดยใช้โปรแกรม Z-MATCH ได้ผล ดังนี้

$$\text{ตำแหน่งที่จะต่อสตั๊ปห่างจากสายอากาศ } L1 = 393 \text{ mm}$$

$$\text{ความยาวของสตั๊ป } L2 = 173.7 \text{ mm}$$

$$\text{ค่าอินดักแตนซ์ของสตั๊ป } = 31.543 \text{ nH}$$

เมื่อทำการต่อสตั๊ปแล้ว ค่า SWR จะลดลงจากเดิม 5.25 : 1 เหลือ 1.004 : 1 ซึ่งเป็นการแมตซิ่งพอดดี ซึ่งพิจารณาได้จากสมิตชาร์ตและวงจรประกอบ

Admittance - mS:

0.0000 +j0.0000

0.0000 +j0.0000

Resistive

SWR = 1.00

Q Factor = 0.00

Ref. Coef. = 0.00

Angle = -112.9 Deg

Meters towards:

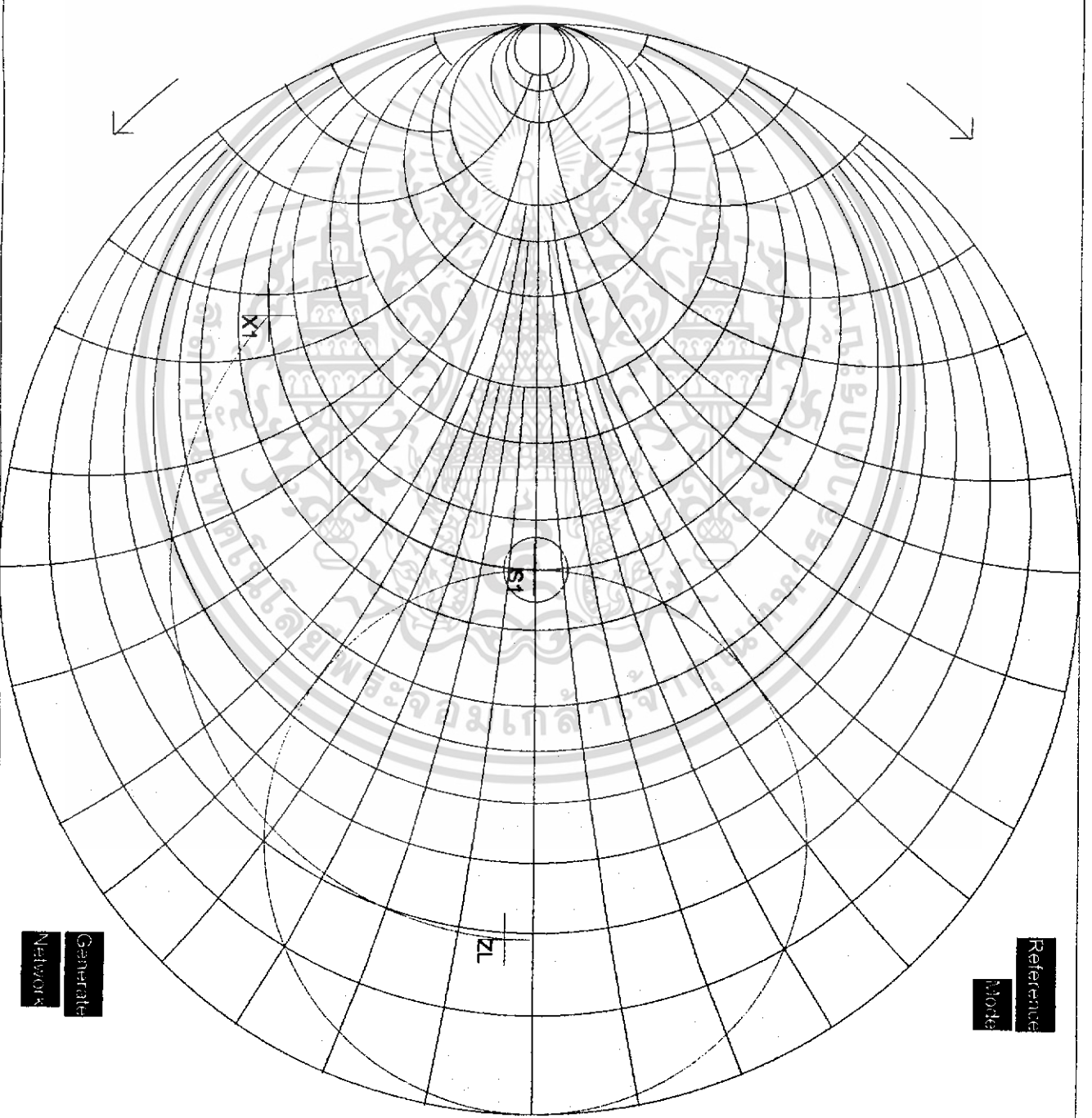
Generator = 0.0000

Load = 0.0000

Zo 50 Ohm

Frequency 136.1 MHz

Dielectric Constant 1.00



รูปที่ 2.39 สมบัติชาร์ตแสดงตำแหน่งตลับของสายอากาศ 5 λ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impedance-Ohms:

0.0000 +j27.018

0.0000 +j0.5403

L = 31.589 nH

SWR = >100

Q Factor = >100

Ref. Coef. = 1.00

Angle = 123.22 Deg

Metres towards:

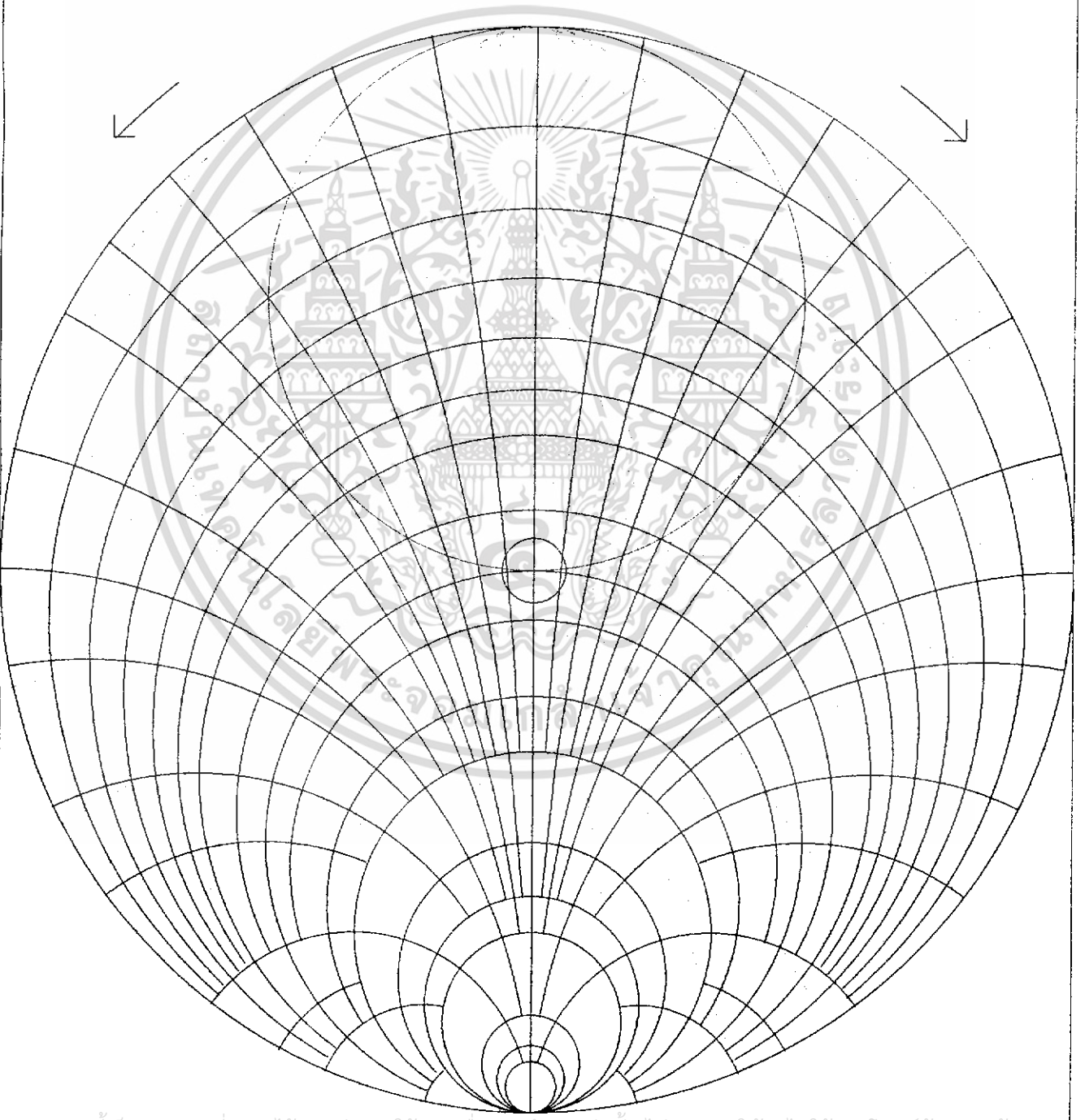
Generator = 0.1737

Load = 0.9281

Zo 50 Ohm

Frequency 136.1 MHz

Dielectric Constant 1.00



รูปที่ 2.40 สมบัติชาร์ตแสดงค่าของสายอากาศ  $\frac{5}{2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.41 แสดงงานบอร์ด แอสเคอร์ เน็ทเวิร์คของสายอากาศ 5-1-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายอากาศ YAGI 400C – 12Y9DN / T

$$f = 415 \text{ MHz}$$

$$\text{Impedance} = 46.5 + j22.3 \quad \Omega$$

$$Z_0 = 50 \quad \Omega$$

$$\text{SWR} = 1.59 : 1$$

การคำนวณหาตำแหน่งที่จะต่อสับและความยาวของสับโดยการใช้โปรแกรม Z-MATCH ได้ผล ดังนี้

$$\text{ตำแหน่งที่จะต่อสับห่างจากสายอากาศ} \quad L1 = 191.1 \text{ mm}$$

$$\text{ความยาวของสับ} \quad L2 = 130 \text{ mm}$$

$$\text{ค่าอินดักแตนซ์ของสับ} \quad = 41.108 \text{ nH}$$

เมื่อทำการต่อสับแล้ว ค่า SWR จะลดลงจากเดิม 1.59 : 1 เหลือ 1.011 : 1 ซึ่งเป็นการแมทซิ่งพอดี ซึ่งพิจารณาได้จากสมิตชาร์ตและวงจรถ่ายทอด

Admittance - mS:

0.0000 +j0.0000

0.0000 +j0.0000

Resistive

SWR = 1.01

Q Factor = 0.00

Ref. Coef. = 0.01

Angle = -159.2 Deg

Meters towards:

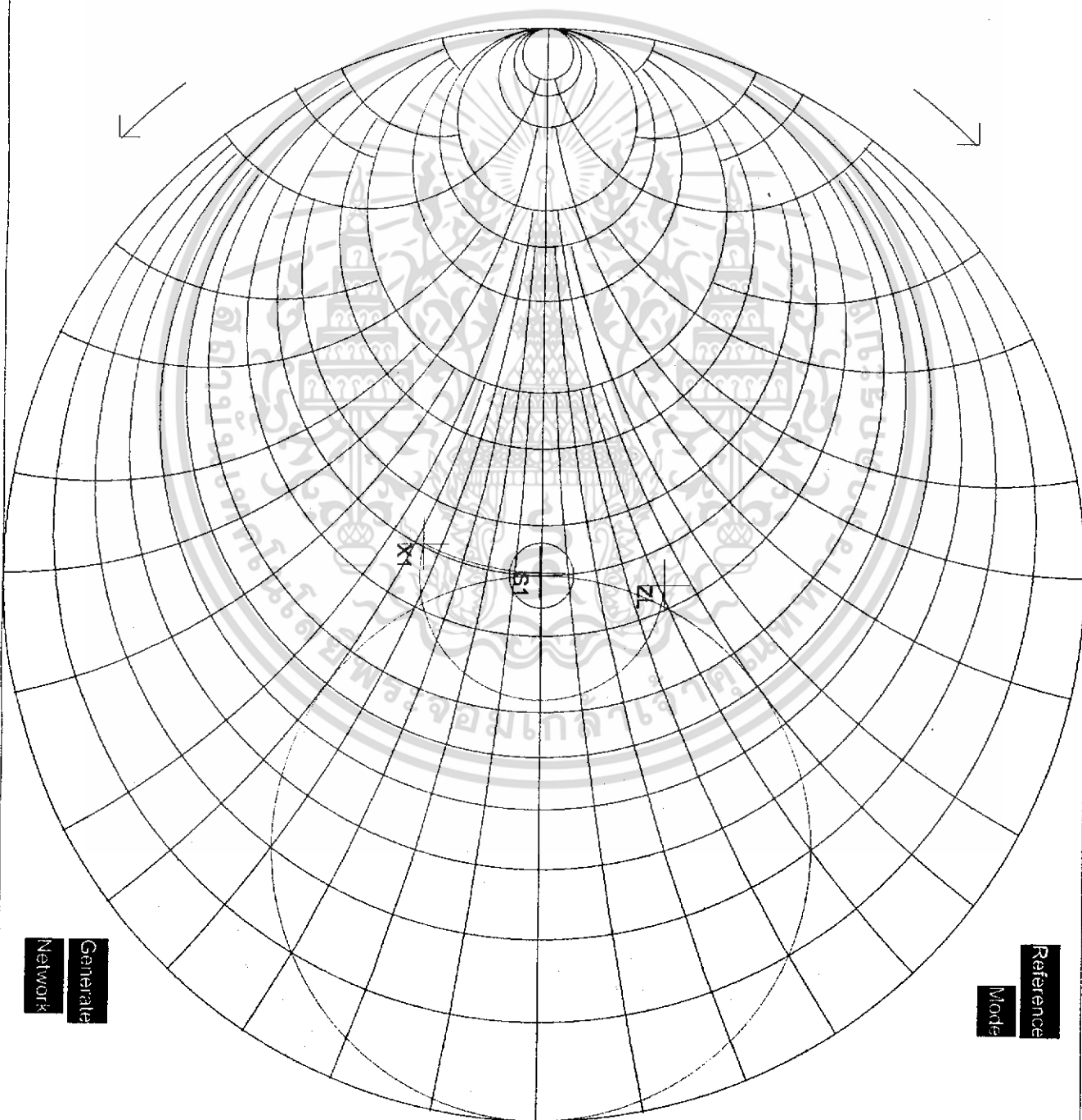
Generator = 0.0000

Load = 0.0000

Zo 50 Ohm

Frequency 415.0 MHz

Dielectric Constant 1.00



รูปที่ 2.42 สมบัติชาร์ตแสดงตำแหน่งสลับของสายอากาศขนาด 400C-12 Y9DN/T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impedance-Ohms:

$0.0140 + j107.44$

$0.0002 + j2.1489$

$L = 41.205 \text{ nH}$

SWR =  $>100$

Q Factor =  $>100$

Ref. Coef. =  $1.00$

Angle =  $49.910 \text{ Deg}$

Metres towards:

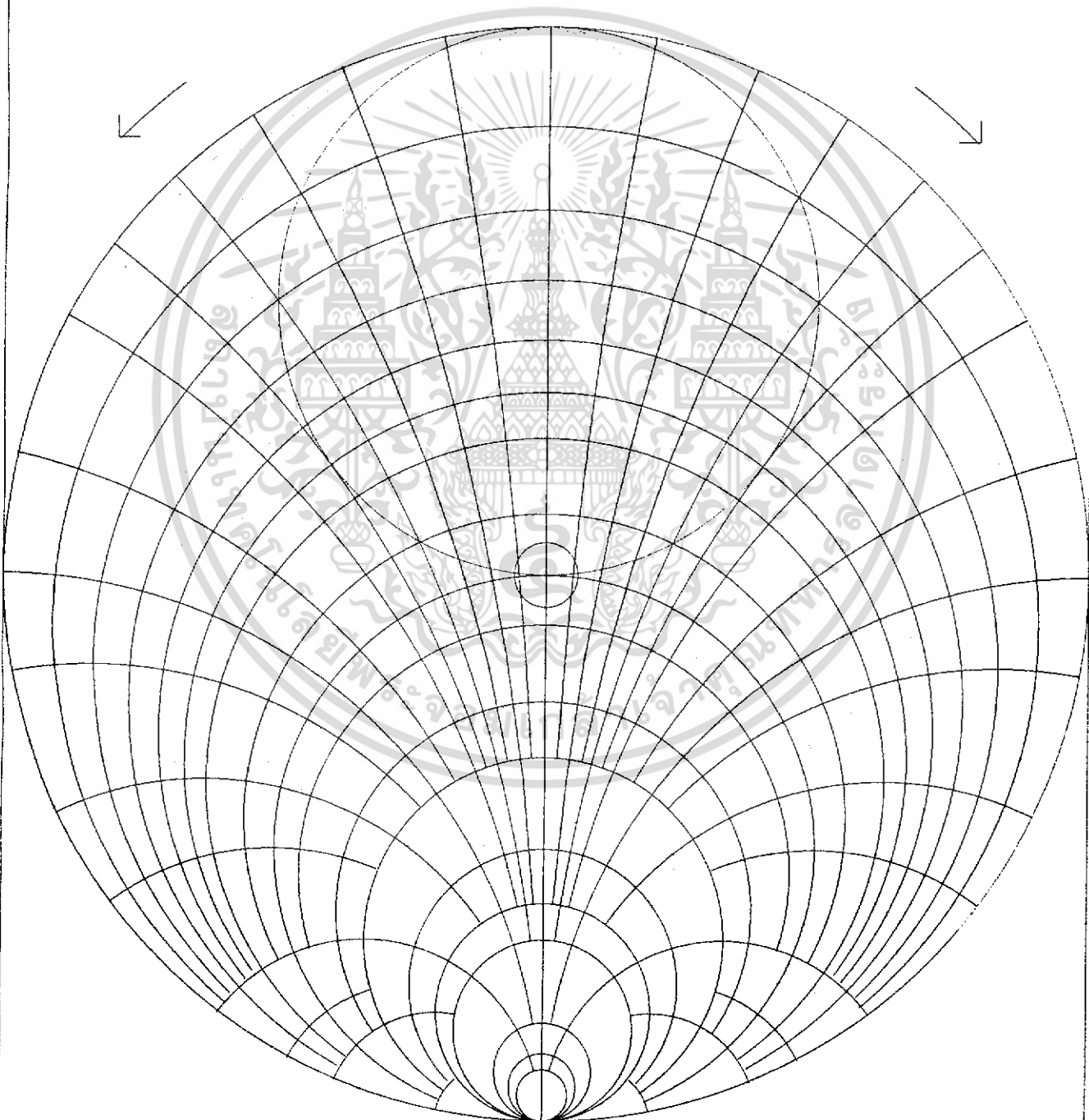
Generator =  $0.1306$

Load =  $0.2308$

$Z_0 = 50 \text{ Ohm}$

Frequency  $415.0 \text{ MHz}$

Dielectric Constant  $1.00$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.43 สมบัติชาร์ตแสดงความยาวคลื่นของสายอากาศภาค 400C-12 Y9DN/T



Network Input Impedance 49.47 - j0.198 Ohms at 415.0 MHz

Input SWR 1.011 in 50.00 Ohm system

รูปที่ 2.44 แสดงงานเนอรัล แมตเทอเรียล เนทเวิร์ค ของสาขาที่ 400C-12 Y9DN/T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สายอากาศรับเบอร์ดีค

$$f = 145.00 \text{ MHz}$$

$$\text{Impedance} = 70.605 - j89.301 \ \Omega$$

$$Z_0 = 50 \ \Omega$$

$$\text{SWR} = 4.1 : 1$$

การคำนวณหาตำแหน่งที่จะต่อสับและความยาวของสับโดยใช้โปรแกรม Z-MATCH ได้ผล ดังนี้

$$\text{ตำแหน่งที่จะต่อสับห่างจากสายอากาศ} \quad L1 = 250.8 \text{ mm}$$

$$\text{ความยาวของสับ} \quad L2 = 189.5 \text{ mm}$$

$$\text{ค่าอินดักแตนซ์ของสับ} \quad = 35.526 \text{ nH}$$

เมื่อทำการต่อสับแล้ว ค่า SWR จะลดลงจากเดิม 4.1 : 1 เหลือ 1.010 : 1 ซึ่งเป็นการแมทซ์พอดี ซึ่งพิจารณาได้จากสมิตชาร์ตและวงจรประกอบ

Admittance - mS:

0.0000 +j0.0000

0.0000 +j0.0000

Resistive

SWR = 1.00

Q Factor = 0.00

Ref. Coef. = 0.00

Angle = -180.0 Deg

Metres towards:

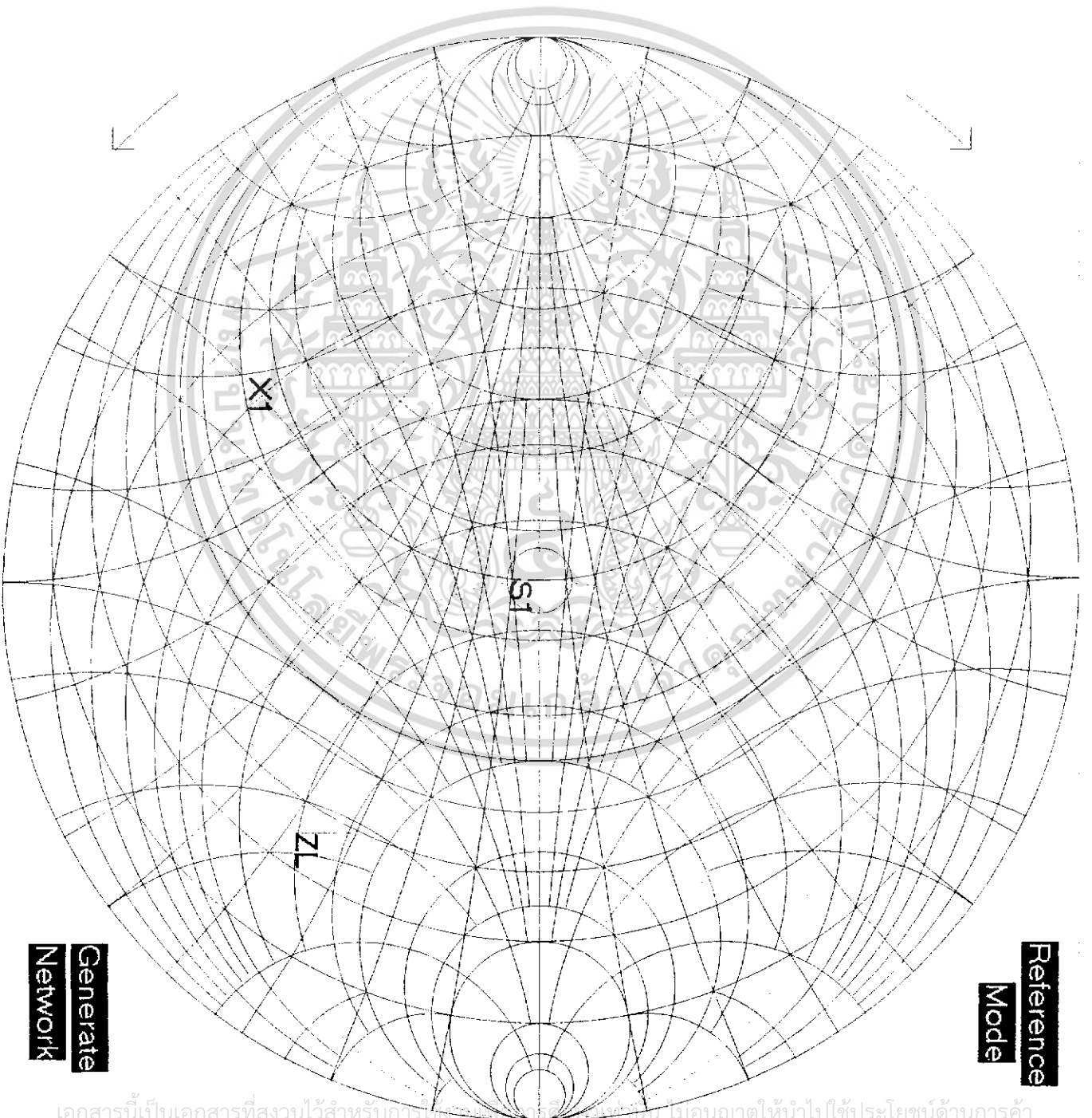
Generator = 0.0000

Load = 0.0000

Zo 50 Ohm

Frequency 145.0 MHz

Dielectric Constant 1.00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impedance-Ohms:

0.0000 +j32.457

0.0000 +j0.6491

L = 35.626 nH

SWR = >100

Q Factor = >100

Ref. Coef. = 1.00

Angle = 114.02 Deg

Metres towards:

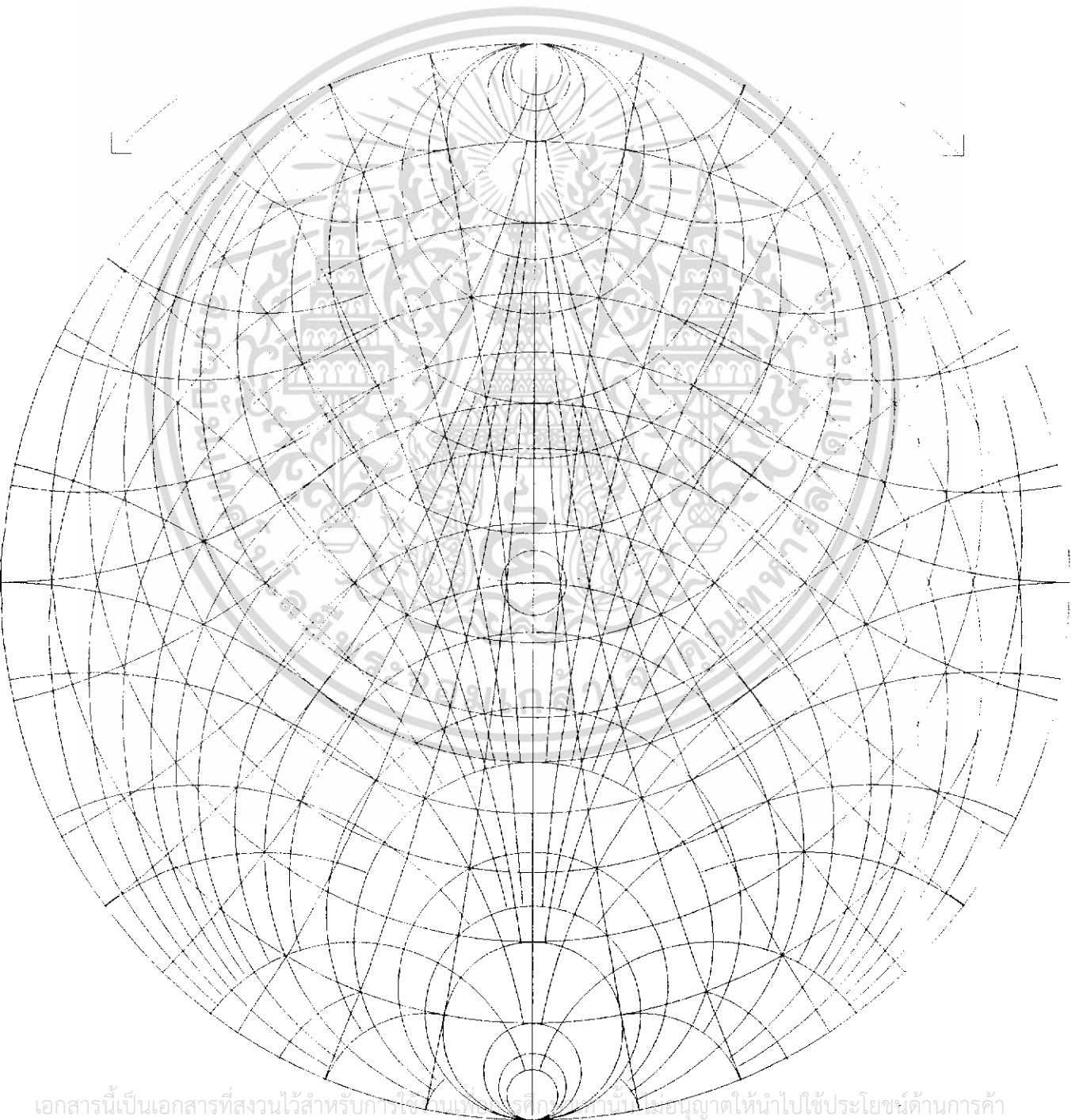
Generator = 0.1895

Load = 0.8448

Zo 50 Ohm

Frequency 145.0 MHz

Dielectric Constant 1.00



รูปที่ 7.46 สมบัติการวัดแสดงความยาวคลื่นจากสายอากาศรับเบอร์ดีค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Network Input Impedance  $49.82 + j0.000$  Ohms at 145.0 MHz

Input SWR 1.003 in 50.00 Ohm system

รูป 2.47 แสดงเงื่อนไขการแตกเตอร์ในเครือข่ายของสายอากาศรับเบอร์ดีค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การทดสอบสายอากาศและสายนำสัญญาณ

คุณสมบัติของสายอากาศที่จำเป็นต้องทดสอบคือ VSWR, Radiation Pattern, Gain, Impedance, Polarization และ Front to back Ratio

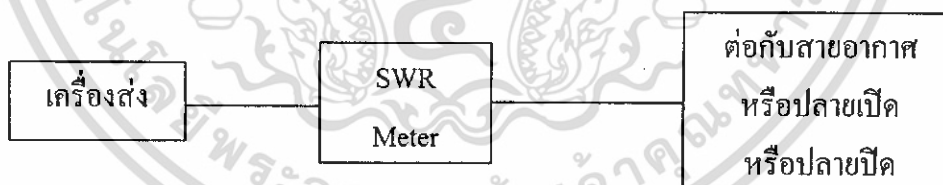
การทดสอบชุดทดลองความถี่ย่าน ยู เอช เอฟ (800-900 MHz)

#### 3.1 การวัด VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

ทำได้โดยใช้ เอสดับบลิวอาร์มิเตอร์ วัดสัญญาณซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของแรงดันหรือกระแสก็ได้ที่ออกจากเครื่องส่งไปสู่สายอากาศหรือวัดสัญญาณในทิศทางฟอร์เวิร์ด(Forward) และสัญญาณที่สะท้อนกลับ (Reflected) จากสายอากาศกลับสู่เครื่องส่ง

สูตรการคำนวณหา VSWR คือ

$$VSWR = \frac{I_{max}}{I_{min}} = \frac{I_f + I_r}{I_f - I_r}$$



รูป 3.1 บล็อกไดอะแกรมการวัด VSWR

โดยการเปลี่ยนจุดวัดของสายนำสัญญาณไปเรื่อยๆ ตามลำดับ ในที่นี้ความยาวของสายนำสัญญาณจะใช้หน่วยความยาวคลื่น ( $\lambda$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.1 ผลการทดลองกรณีปลายเปิด (Open Circuit)

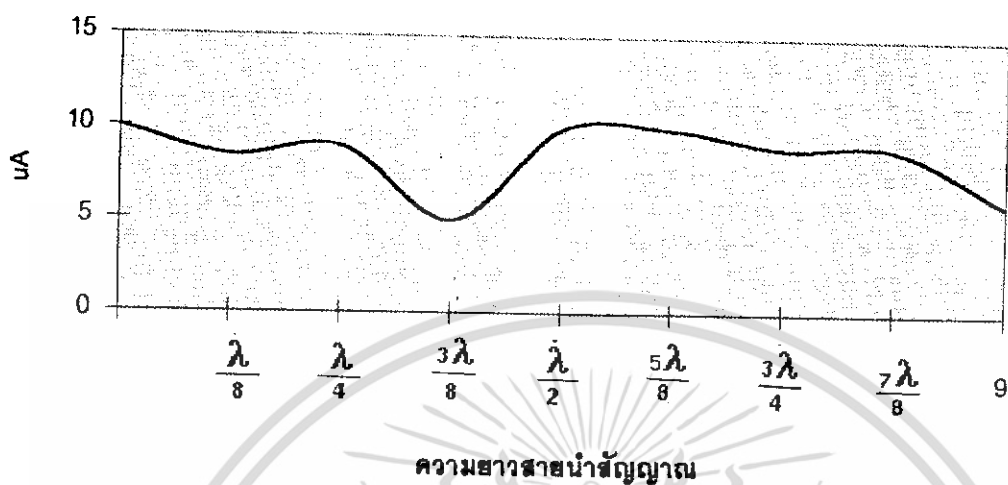
ความยาวลวด	ค่าการสะท้อน
0	10.0
$\lambda/8$	8.5
$\lambda/4$	9.0
$3\lambda/8$	5.0
$\lambda/2$	10.0
$5\lambda/8$	10.0
$3\lambda/4$	9.0
$7\lambda/8$	9.0
$\lambda$	6.0

ตาราง 3.2 ผลการทดลองกรณีปลายปิด (Short Circuit)

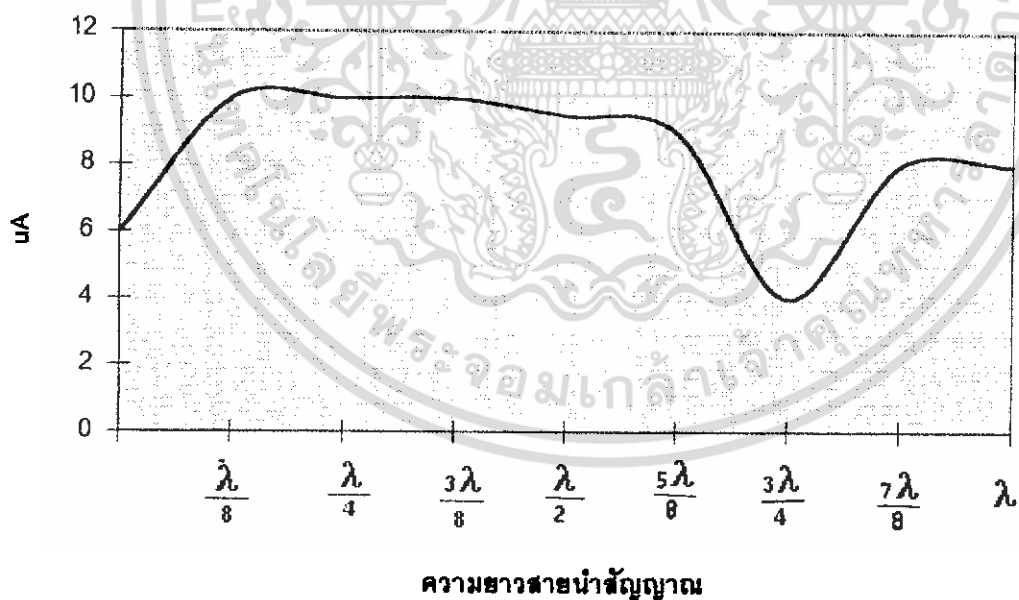
ความยาวลวด	ค่าการสะท้อน
0	6.0
$\lambda/8$	10.0
$\lambda/4$	10.0
$3\lambda/8$	10.0
$\lambda/2$	9.5
$5\lambda/8$	9.0
$3\lambda/4$	4.0
$7\lambda/8$	8.0
$\lambda$	8.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.2 กราฟกรณีปลายเปิด (Open Circuit)



รูป 3.3 กรณีปลายปิด (Short Circuit)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.3 ผลการทดลองเมื่อเทียบกับสายอากาศฮอร์ริซอนตัลไดโพลขณะไม่ต่อสตัป

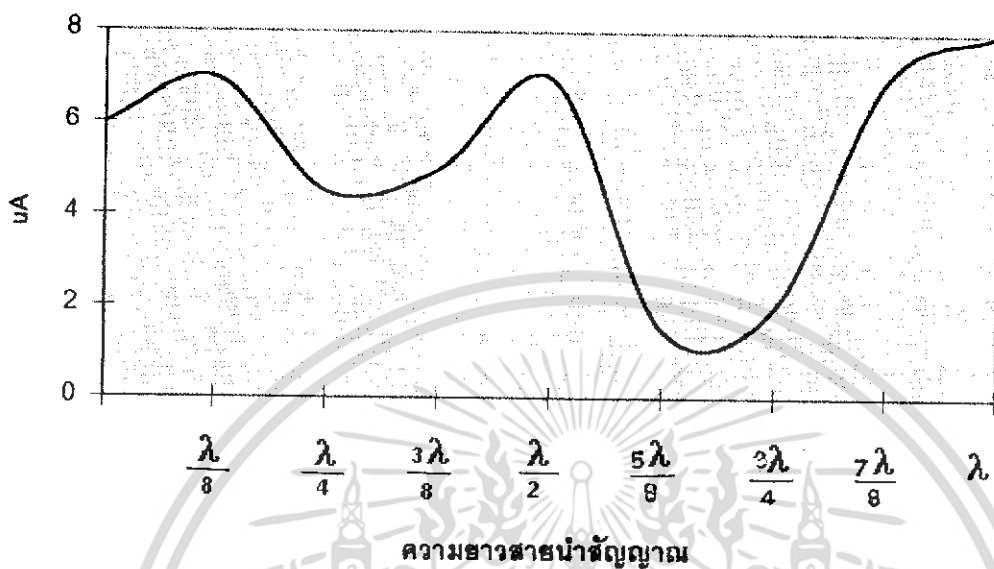
ความถี่ (MHz)	ระยะทาง (m)
0	6.0
$\lambda/8$	7.0
$\lambda/4$	4.5
$3\lambda/8$	5.0
$\lambda/2$	7.0
$5\lambda/8$	1.5
$3\lambda/4$	2.0
$7\lambda/8$	7.0
$\lambda$	8.0

ตาราง 3.4 ผลการทดลองเมื่อเทียบกับสายอากาศฮอร์ริซอนตัลไดโพลขณะต่อสตัป

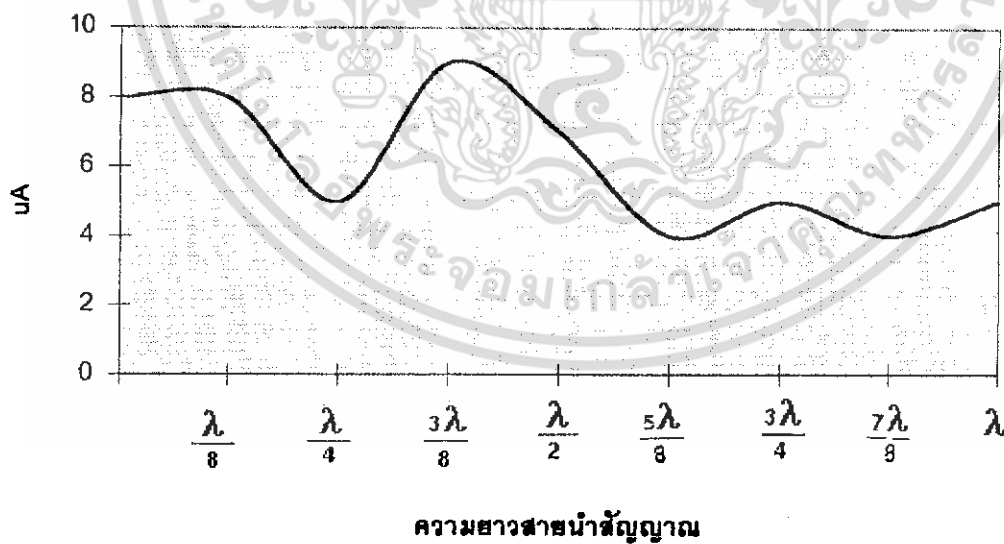
ความถี่ (MHz)	ระยะทาง (m)
0	8.0
$\lambda/8$	8.0
$\lambda/4$	5.0
$3\lambda/8$	9.0
$\lambda/2$	7.0
$5\lambda/8$	4.0
$3\lambda/4$	5.0
$7\lambda/8$	4.0
$\lambda$	5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.4 กราฟกรณีต่อกับสายอากาศฮอร์ชอนต์ลโดโพล



รูป 3.5 กราฟกรณีต่อกับสายอากาศฮอร์ชอนต์ลโดโพลเมื่อต่อสตัด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.5 ผลการทดลองเมื่อเทียบกับสายอากาศพาราซิติกอาร์เรย์ระยะไม่ต่อสลับ

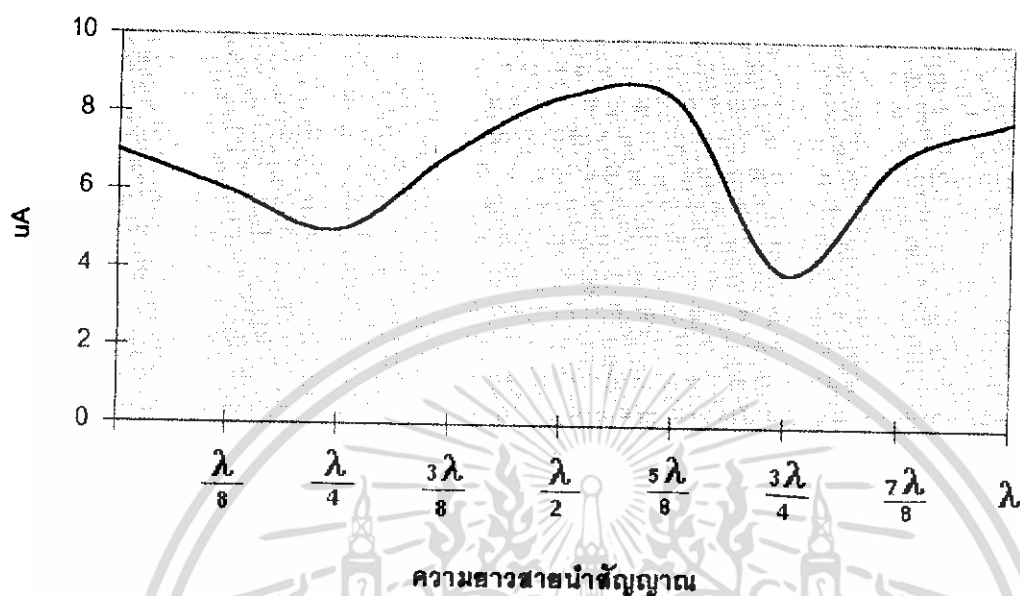
ระยะการเชื่อมต่อ	ค่าการทดลอง
0	7.0
$\lambda/8$	6.0
$\lambda/4$	5.0
$3\lambda/8$	7.0
$\lambda/2$	8.5
$5\lambda/8$	8.5
$3\lambda/4$	4.0
$7\lambda/8$	7.0
$\lambda$	8.0

ตาราง 3.6 ผลการทดลองเมื่อเทียบกับสายอากาศพาราซิติกอาร์เรย์ระยะต่อสลับ

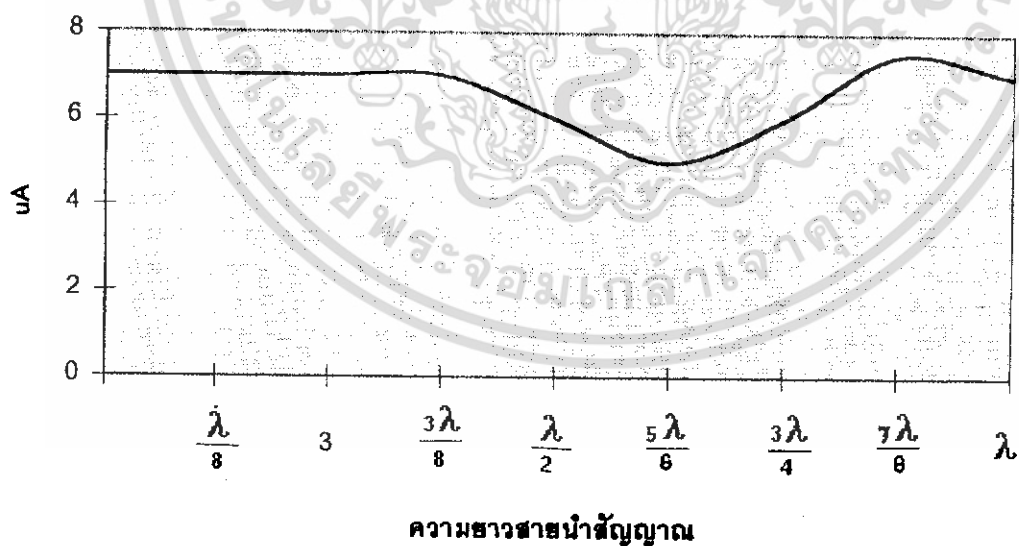
ระยะการเชื่อมต่อ	ค่าการทดลอง
0	7.0
$\lambda/8$	7.0
$\lambda/4$	7.0
$3\lambda/8$	7.0
$\lambda/2$	6.0
$5\lambda/8$	5.0
$3\lambda/4$	6.0
$7\lambda/8$	7.5
$\lambda$	7.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.6 กราฟกรณีต่อกับสายอากาศพาราซิติกอาร์เรย์ขณะไม่ต่อสตั๊ป



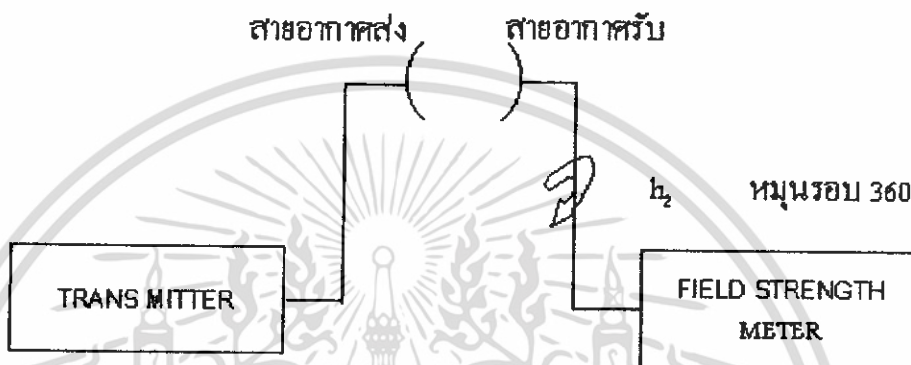
รูป 3.7 กราฟกรณีต่อกับสายอากาศพาราซิติกอาร์เรย์ขณะต่อสตั๊ป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern)

เป็นการวัดรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางต่างๆ โดยรอบตัวสายอากาศ ซึ่งสายอากาศแต่ละแบบจะมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่แตกต่างกัน ซึ่งมีอุปกรณ์ในการวัดดังรูป



รูป 3.8 การจัดรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น

ในการวัดสายอากาศส่ง จะส่ง 6 ลักษณะ และสายอากาศรับก็รับได้ 6 ลักษณะ เช่นเดียวกันคือ

1. ในระนาบแนวนอน (Horizontal Plane)
2. ในระนาบแนวตั้ง (Vertical Plane)
3. Left hand circular
4. Right hand circular
5.  $45^\circ$  Slant
6.  $135^\circ$  Slant

โดยการหมุนสายอากาศรับไปรอบ ๆ ตัวเอง  $360^\circ$  ซึ่งสามารถปรับหมุนไปตามช่วงที่ต้องการได้แล้วนำค่าความเข้มของสัญญาณที่รับได้บันทึกลงในโพลาร์กราฟ (Polar Graph)

การตั้งสายอากาศส่งและรับให้ห่างกัน ควรจะเป็นระยะทางอย่างน้อยที่สุด

$$R = \frac{2D^2}{\lambda}$$

D : ขนาดอะพอร์เจอร์ของสายอากาศ

$\lambda$  : ความยาวคลื่นของความถี่สูงสุด

และระยะห่างของสายอากาศทั้งสองมีความสัมพันธ์กับความสูง คือ

$$R = \frac{4h_1 h_2}{\lambda}$$

การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น ของสายอากาศฮอร์ซอนตัล ไดโพล  
ส่งและรับใน ระนาบแนวนอน (Horizontal Plane)

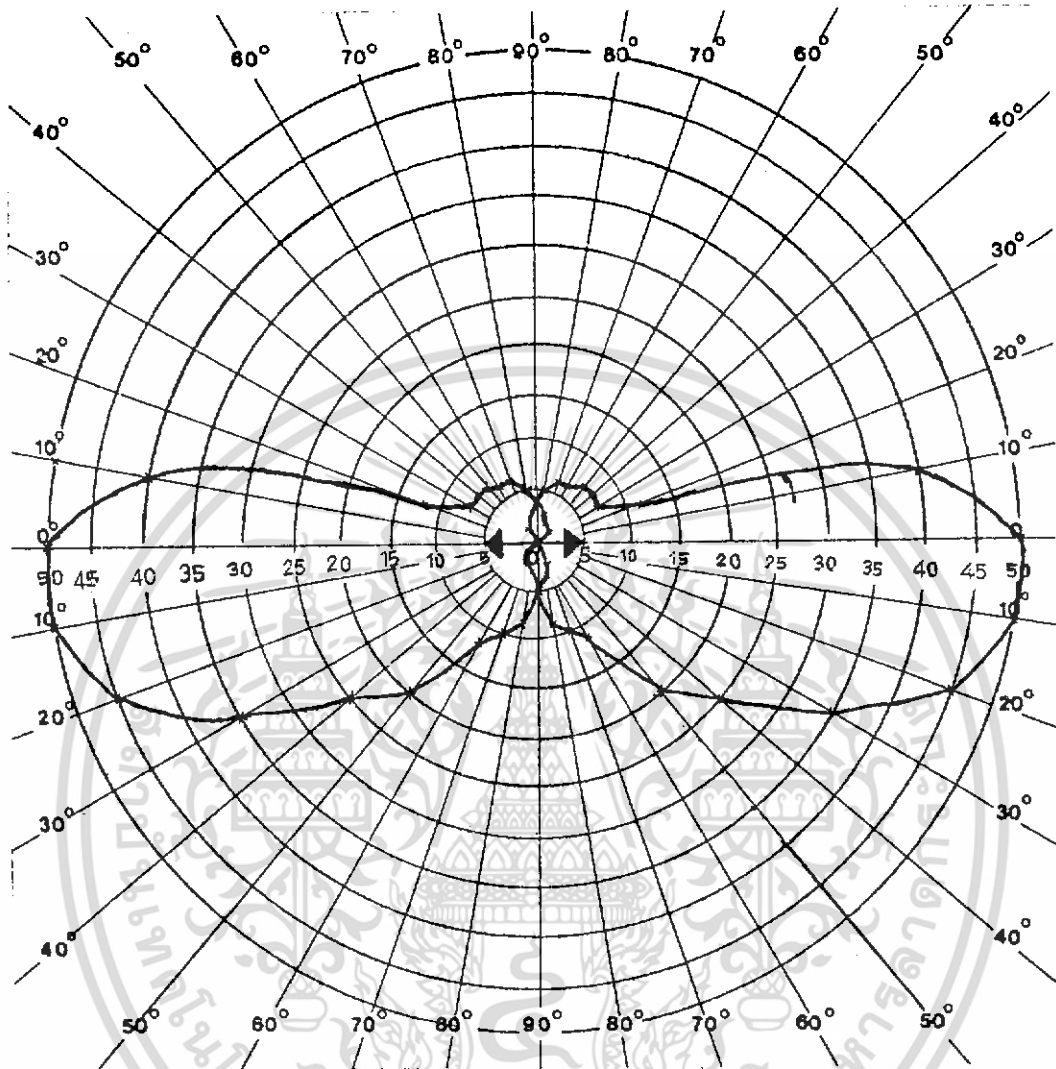
ตาราง 3.7 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศฮอร์ซอนตัล ไดโพล

องศาที่หมุน	ระดับสัญญาณที่รับได้ (µA)
0	50
10	50
20	45
30	35
40	25
50	20
60	12
70	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80	8
90	5
100	3
110	6
120	2
130	1
140	1
150	1
160	1
170	0
180	0
190	0
200	0
210	0
220	0
230	0
240	0
250	1
260	2
270	4
280	5
290	6
300	6
310	7
320	7
330	7
340	12
350	40
360	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.9 ผลการวัด รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาราซิติกอาร์เรย์  
ส่งและรับในระนาบแนวนอน (Horizontal Plane)

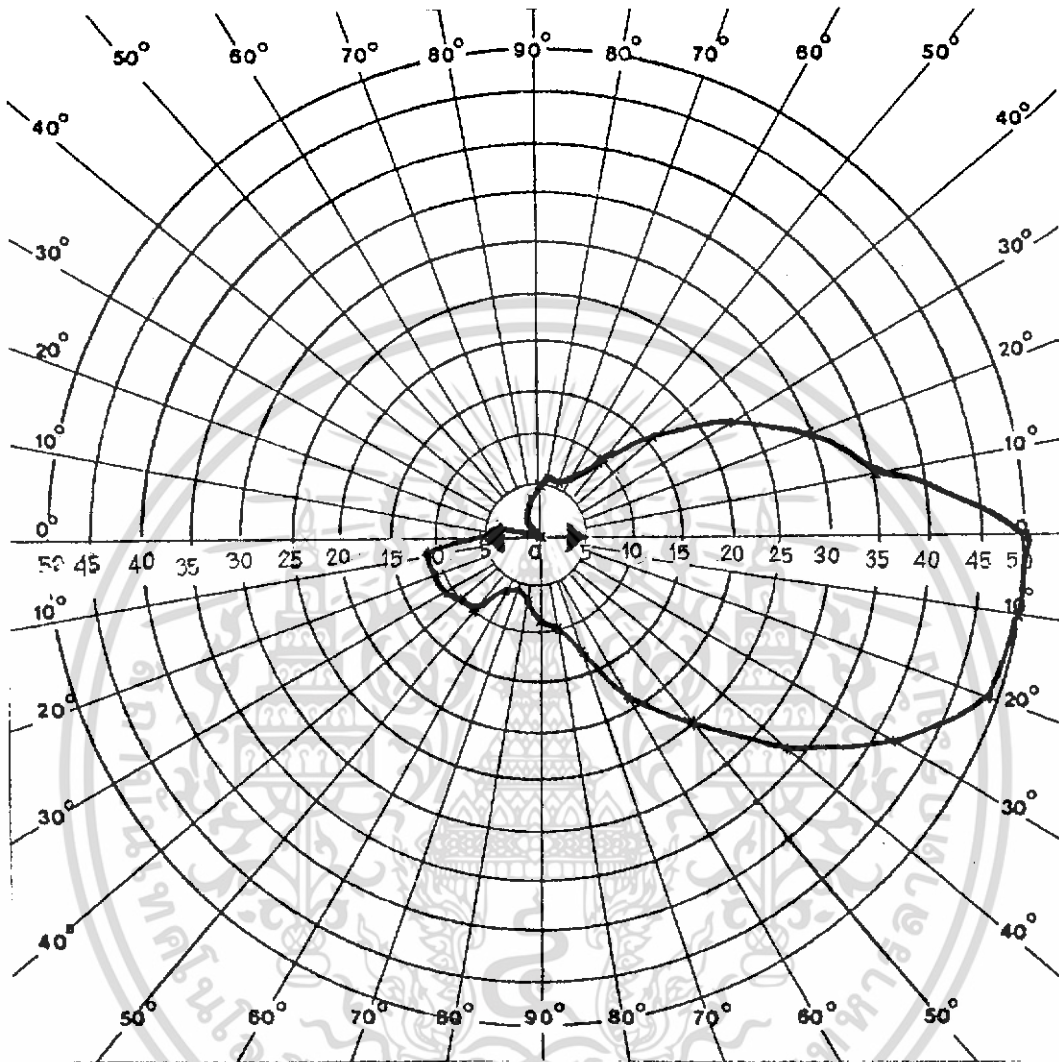
ตาราง 3.8 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาราซิติกอาร์เรย์

องศาที่หมุน	ระดับสัญญาณที่รับได้ ( $\mu\text{A}$ )
0	50
10	50
20	49
30	42
40	33
50	25
60	18
70	13
80	10
90	9
100	7
110	6
120	7
130	10
140	10
150	11
160	11
170	11
180	5
190	4
200	0
210	0
220	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

230	0
240	0
250	2
260	4
270	5
280	6
290	6
300	7
310	10
320	16
330	23
340	30
350	35
360	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.10 ผลการวัด รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาหะทิศทางรัศมีในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

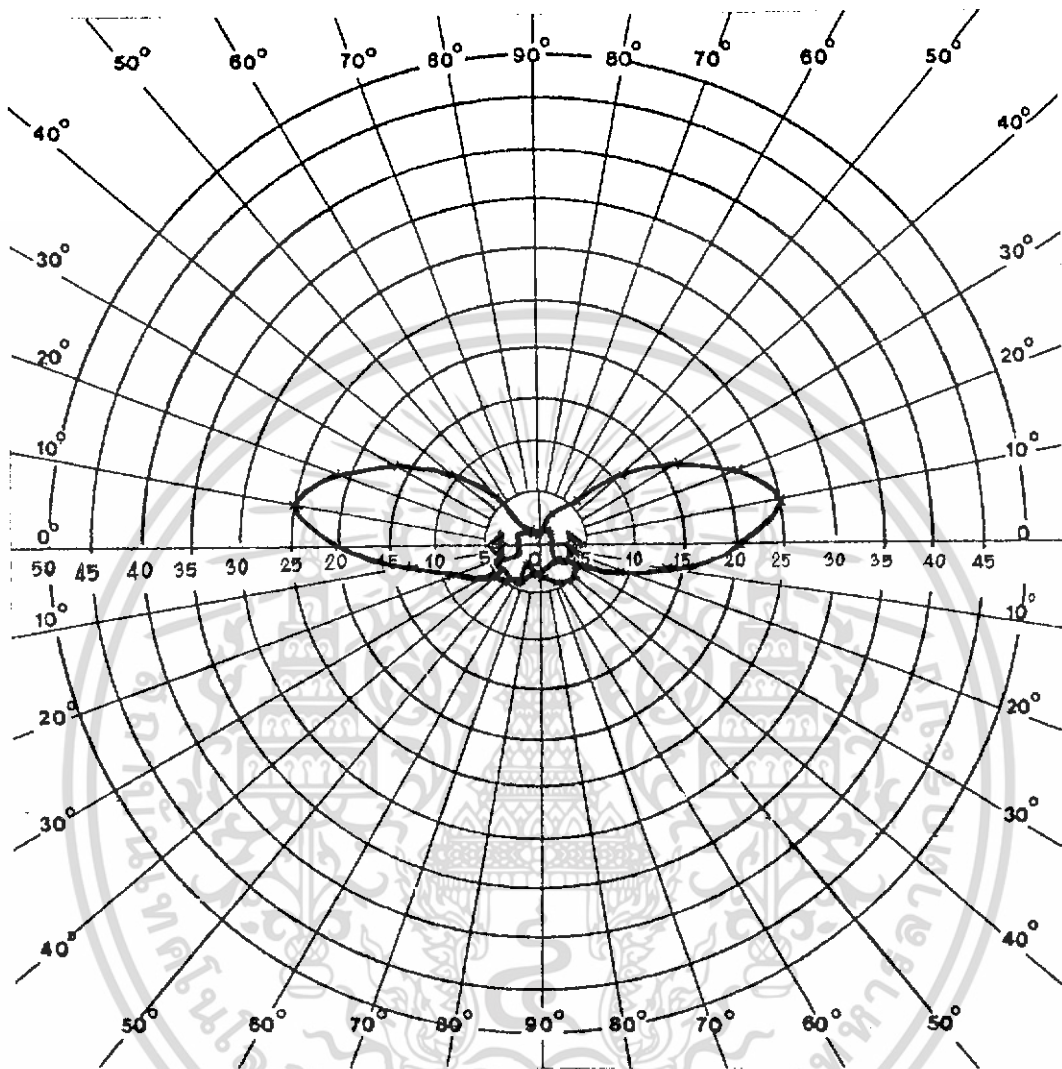
ตาราง 3.9 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลในแนวอนขณะไม้สัดับ

องศาที่หมุน	ระดับสัญญาณที่รับได้ ( $\mu\text{A}$ )
0	20
10	13
20	9
30	4
40	2
50	2
60	2
70	2
80	2
90	3
100	3
110	4
120	4
130	5
140	5
150	4
160	4
170	2
180	2
190	2
200	2
210	2
220	1
230	1
240	1
250	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

260	1
270	1
280	1
290	1
300	3
310	6
320	11
330	17
340	22
350	25
360	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.11 ผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลในแนวนอนขณะไม่ใส่สตั๊ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

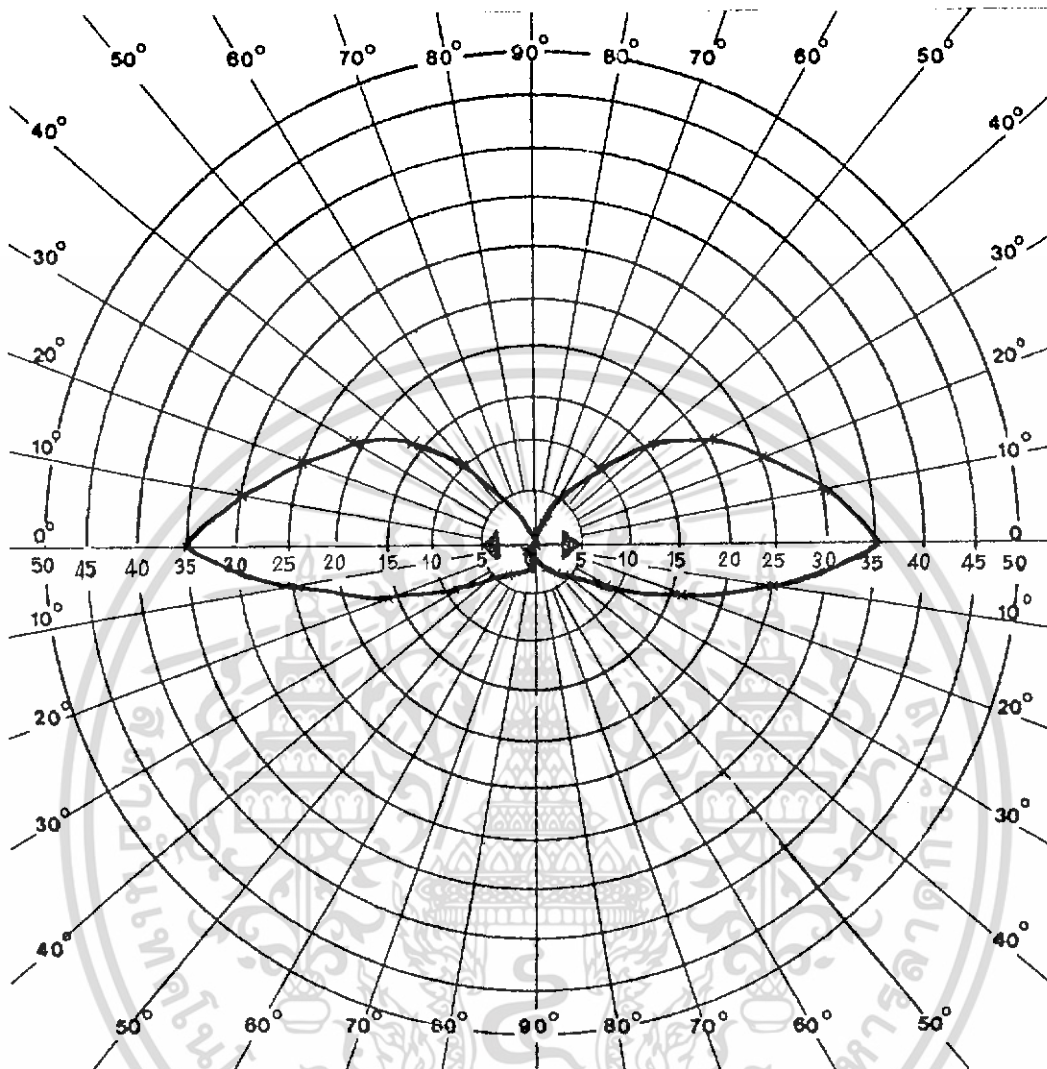
ตาราง 3.10 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลในแนวอนขณะใส่สตั๊ป

องศาที่หมุน	ระดับสัญญาณที่รับได้ ( $\mu\text{A}$ )
0	35
10	25
20	16
30	8
40	5
50	3
60	2
70	2
80	2
90	2
100	2
110	2
120	2
130	2
140	2
150	1
160	0
170	0
180	0
190	0
200	0
210	0
220	0
230	0
240	0
250	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

260	0
270	1
280	2
290	3
300	5
310	10
320	16
330	22
340	25
350	30
360	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.12 ผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลในแนวนอนขณะใส่สตั๊ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

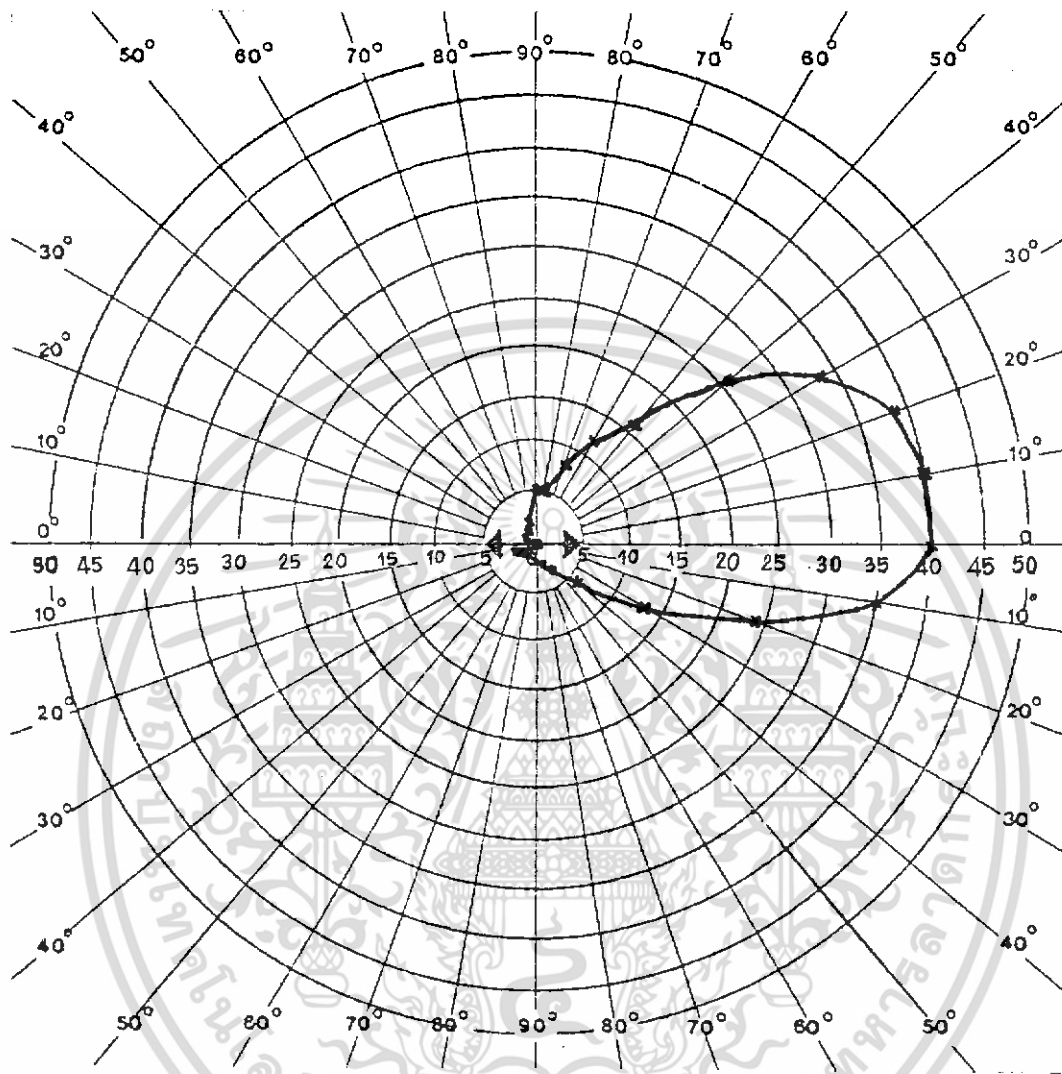
ตาราง 3.11 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาราซิติคอาร์เรย์ขณะไม่ได้สลับ

องศาที่หมุน	ระดับสัญญาณที่รับได้ ( $\mu\text{A}$ )
0	40
10	35
20	24
30	13
40	6
50	2
60	1
70	1
80	0
90	0
100	0
110	0
120	0
130	0
140	0
150	0
160	1
170	2
180	0
190	1
200	1
210	0
220	0
230	0
240	0
250	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

260	2
270	5
280	5
290	8
300	12
310	16
320	26
330	34
340	38
350	40
360	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.13 ผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาราซิติคอาร์เรย์ขณะไม่ใส่สตัป

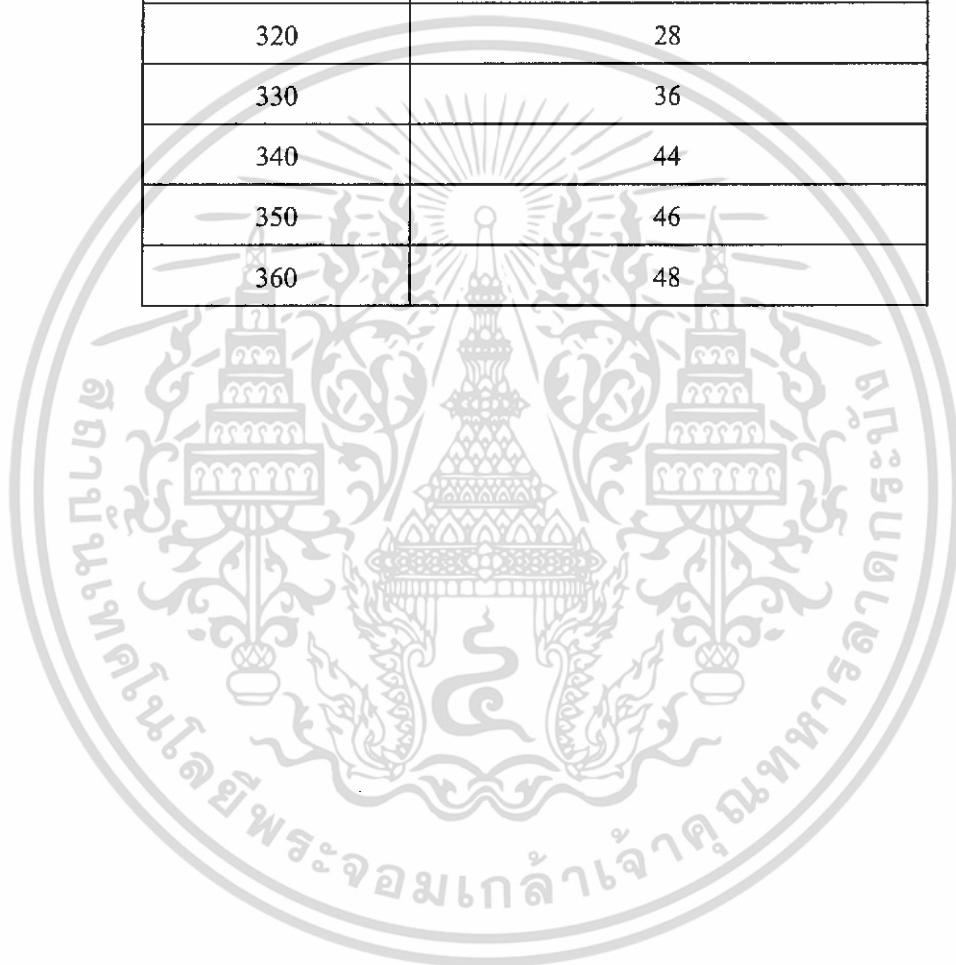
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.12 ผลการวัดการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาราซิติกอาร์เรย์ขณะใส่สตัป

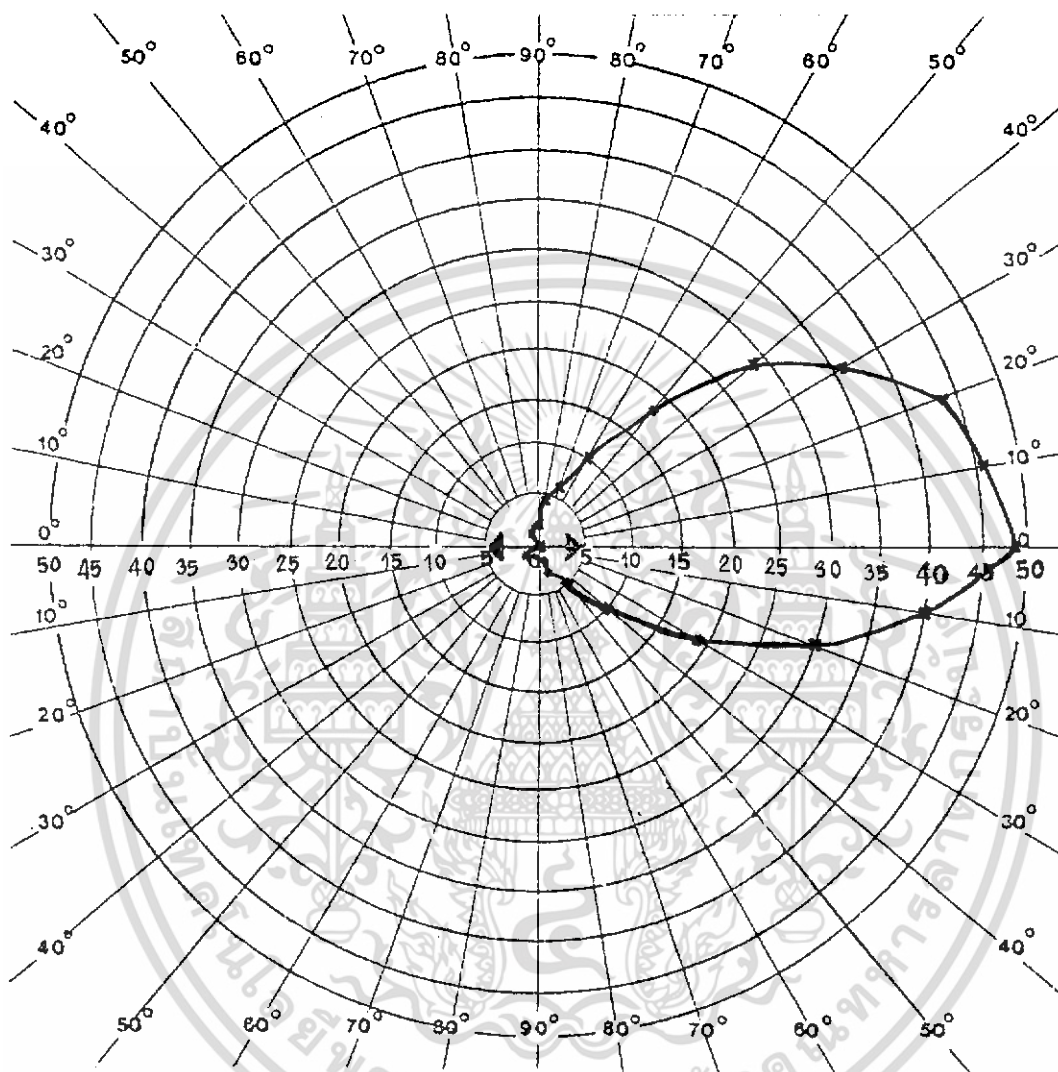
องศาที่หมุน	ระดับสัญญาณที่รับได้ ( $\mu\text{A}$ )
0	48
10	40
20	30
30	19
40	10
50	5
60	2
70	1
80	0
90	0
100	0
110	0
120	0
130	0
140	0
150	0
160	1
170	1
180	0
190	0
200	0
210	0
220	0
230	0
240	0
250	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

260	1
270	2
280	4
290	6
300	10
310	18
320	28
330	36
340	44
350	46
360	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



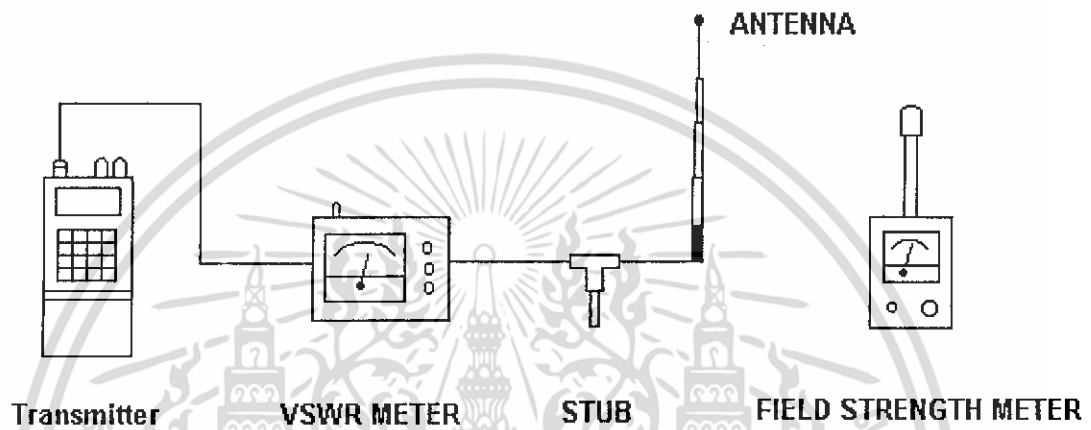
รูป 3.14 ผลการวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศพาราซิติคอาร์เรย์ขณะใส่สตัป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบชุดสาริต ความถี่ย่าน วี เอช เอฟ (144 –146 MHz)

### 3.3 การวัด VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

ประกอบเครื่องมือดังรูป



รูป 3.15 การวัด VSWR และ รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

ลำดับขั้นตอนการทดลอง

1. ป้อนสัญญาณจากเครื่องส่งโดยยังไม่ต่อสตัด วัดค่า VSWR แล้วบันทึก

$$\text{VSWR} = 1.8 : 1$$

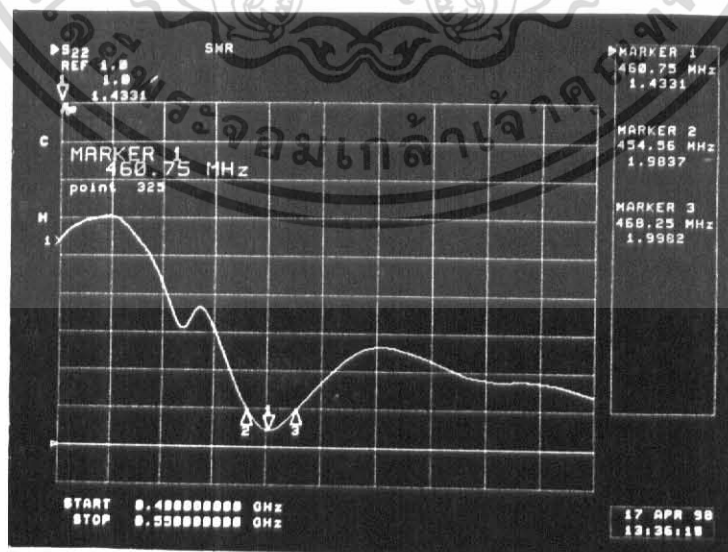
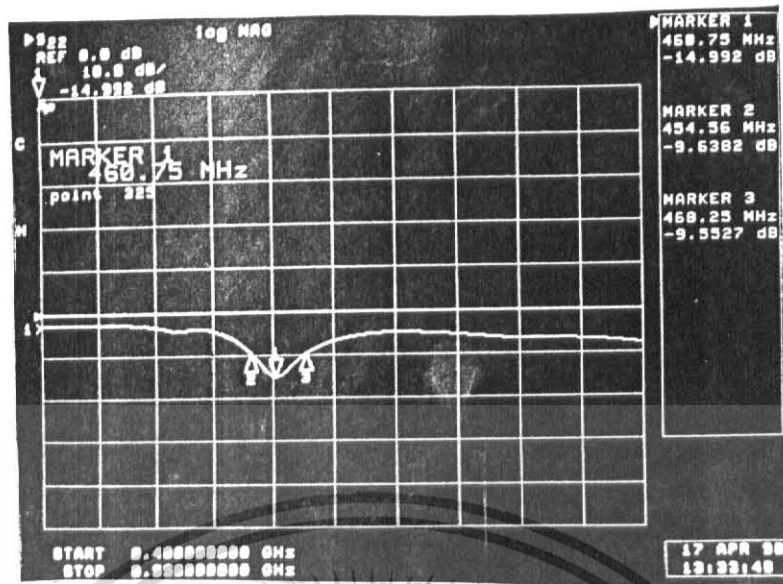
2. ต่อสตัดระหว่าง VSWR METER และสายอากาศ วัดค่า VSWR แล้วบันทึก

$$\text{VSWR} = 1.15 : 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

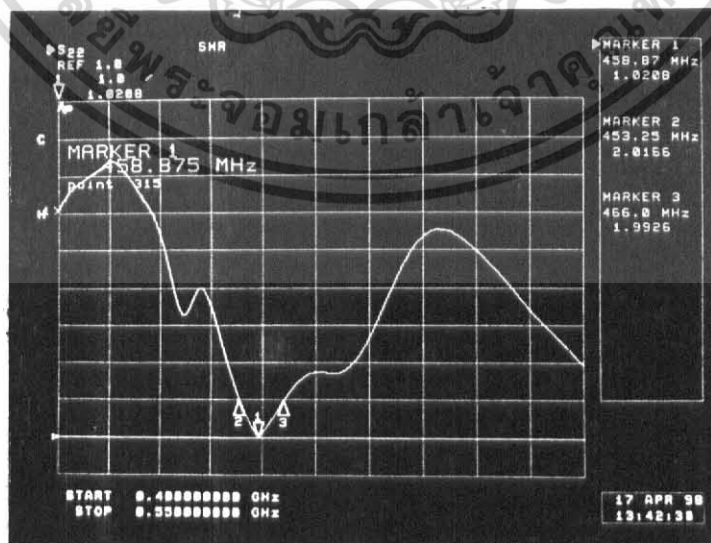
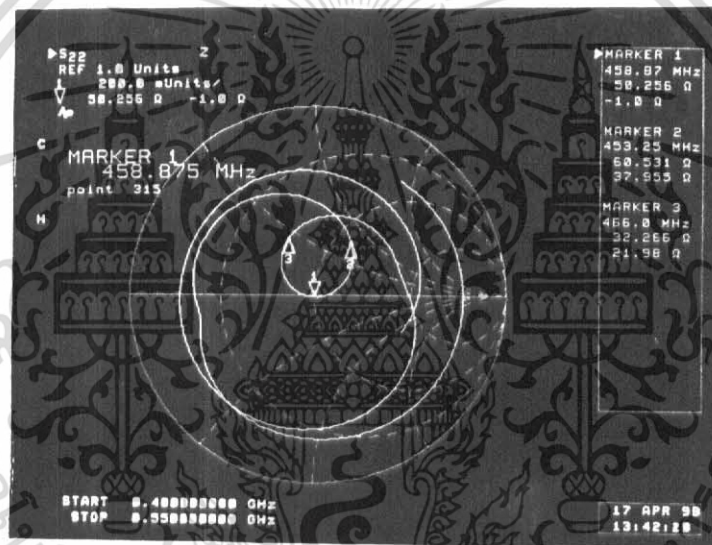
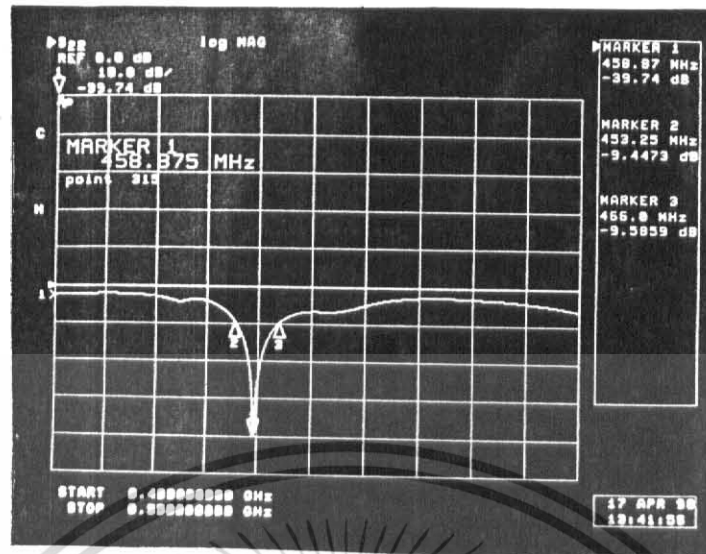


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.17 สัญญาณต่าง ๆ ที่วัดจากเน็ตเวิร์คออนไลน์เซอร์ขณะไม่ใส่สตั๊ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.18 สัญญาณต่าง ๆ ที่วัดจากเน็ทเวิร์คแอนาไลเซอร์ขณะใส่สตัป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การออกแบบและใช้งานโปรแกรม

#### 4.1 บทนำ

เนื่องจากโปรแกรมการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายนำสัญญาณได้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อสามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและสะดวกรวดเร็ว และการใช้งานโปรแกรมก็สามารถทำได้ง่ายเนื่องจากเลือกใช้ภาษา (Language) วิชาลเวสิกในการเขียนโปรแกรม ซึ่งเป็นภาษาที่ทำงานภายใต้สถานะแวดล้อมของวินโดวส์ ซึ่งทำให้ผู้ใช้โปรแกรมทั่วไปสามารถใช้งานได้ง่ายและดึงดูดใจในการใช้งานโปรแกรม เนื่องจากมีระบบติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟฟิกที่เรียกว่า “กราฟฟิกคอลลูซเซอร์อินเทอร์เฟซ”(Graphical User Interface )

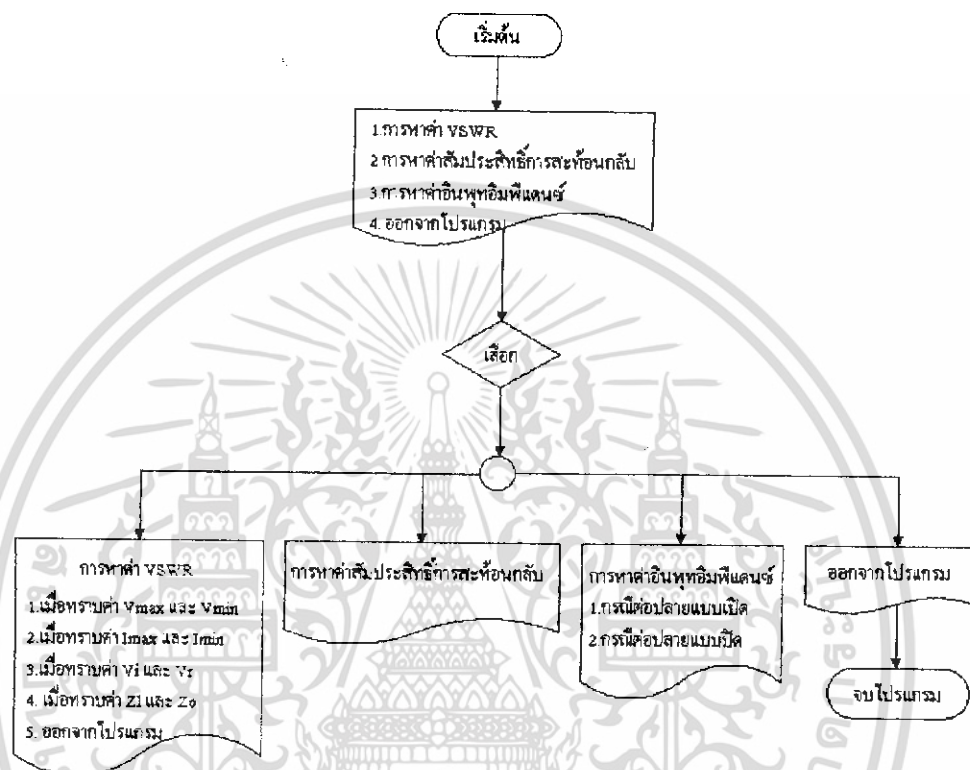
#### 4.2 ระบบที่จำเป็นในการใช้งานโปรแกรมวิชาลเวสิก

1. ระบบคอมพิวเตอร์ที่มีซีพียู ตั้งแต่รุ่น 286 ขึ้นไป
2. ระบบปฏิบัติการคอสมเวอร์ชัน 3.1 ขึ้นไป
3. ฮาร์ดดิสก์ไม่ต่ำกว่า 5 เมกะไบต์ แต่ถ้าต้องการติดตั้งแบบสมบูรณ์ต้องใช้ประมาณ 32 เมกะไบต์
4. แรมขนาดตั้งแต่ 2 เมกะไบต์ขึ้นไป
5. จอภาพ EGA พร้อมการ์ด
6. ฟลอปปีดิสก์ไครฟี่ขนาด 1.44 เมกะไบต์ 1 ช่อง
7. โปรแกรมไมโครซอฟวินโดวส์ (Microsoft Windows) เวอร์ชัน 3.1 ขึ้นไป
8. โปรแกรมไมโครซอฟวิชาลเวสิกเวอร์ชัน 3.0 ขึ้นไป
9. แมสเพื่อความสะดวกในการใช้งานคอนโทรลต่าง ๆ

#### 4.3 การออกแบบโปรแกรม

การออกแบบโปรแกรมเพื่อให้สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน จึงได้สร้างโปรแกรมเป็นเมนูต่าง ๆ ซึ่ง ถ้าผู้ใช้งานต้องการหาค่าต่าง ๆ ก็สามารถชี้เมาส์คลิกเมนูการหาค่านั้น ๆ และถ้าผู้ใช้งานโปรแกรมป้อนค่าต่าง ๆ ไม่ถูกต้อง ก็จะมีเมจแสดงบ็อกซ์คอยเตือนและบอกสาเหตุของความผิดพลาด

### แผนผังหลัก (Flow Chart) ของโปรแกรมที่ออกแบบใช้งาน แสดงดังรูปที่ 4.0



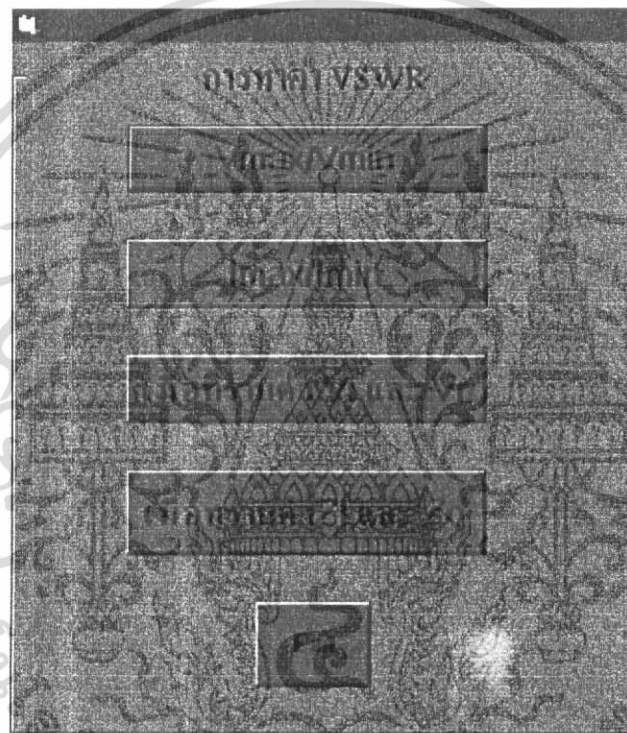
รูปที่ 4.0 แสดงแผนผังหลัก(Flowchart)ของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

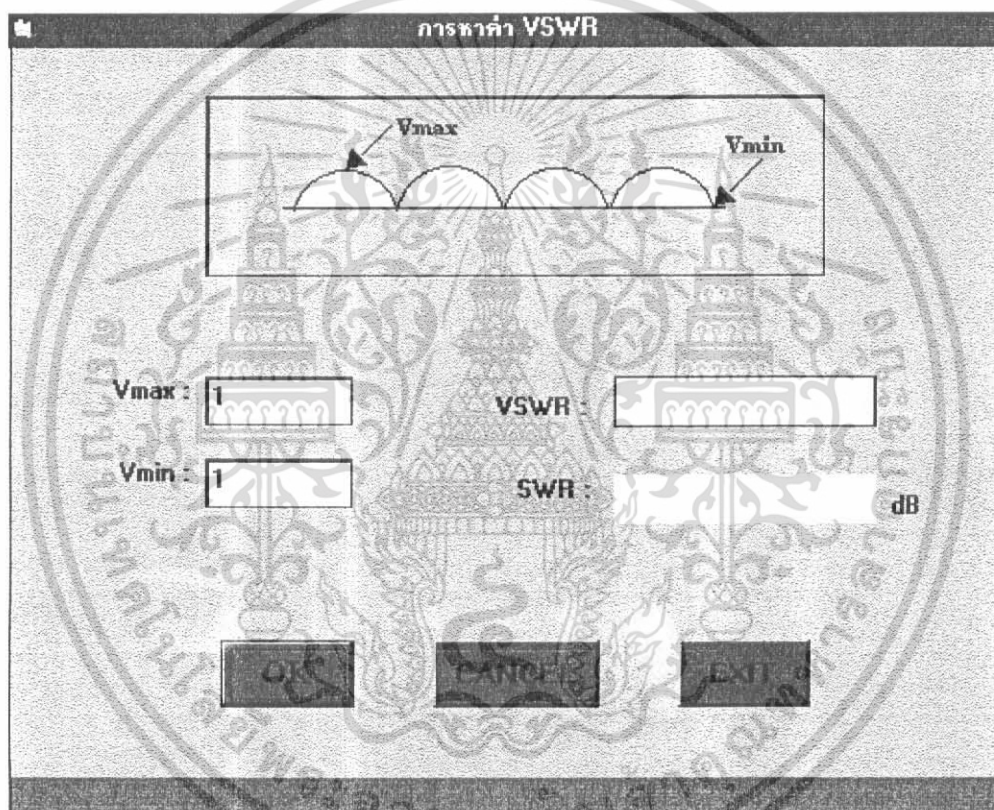
## ผลการทดสอบโปรแกรม



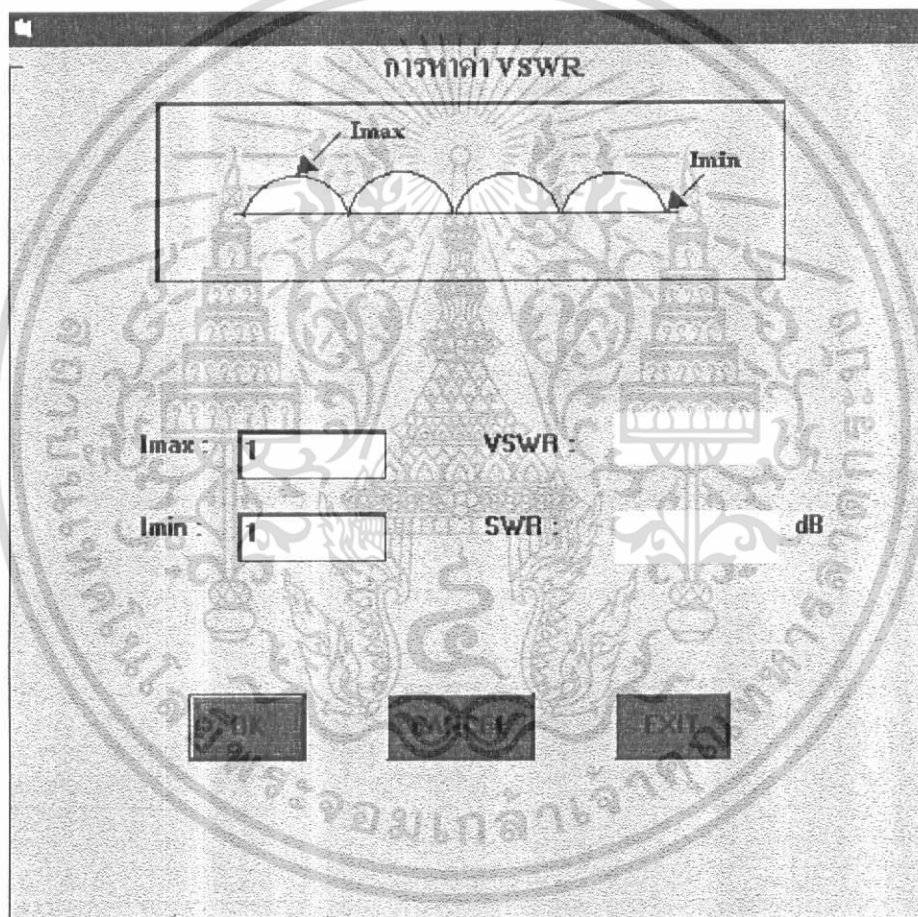
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



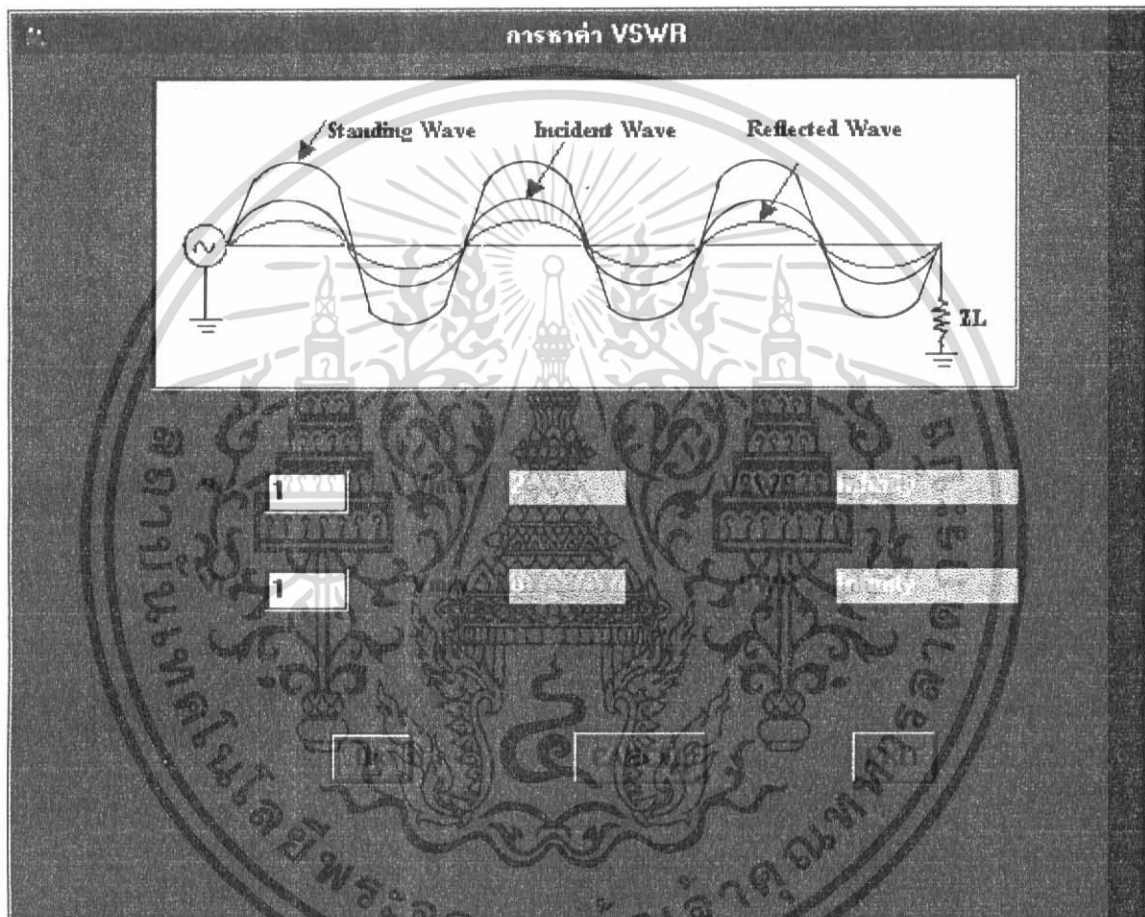
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



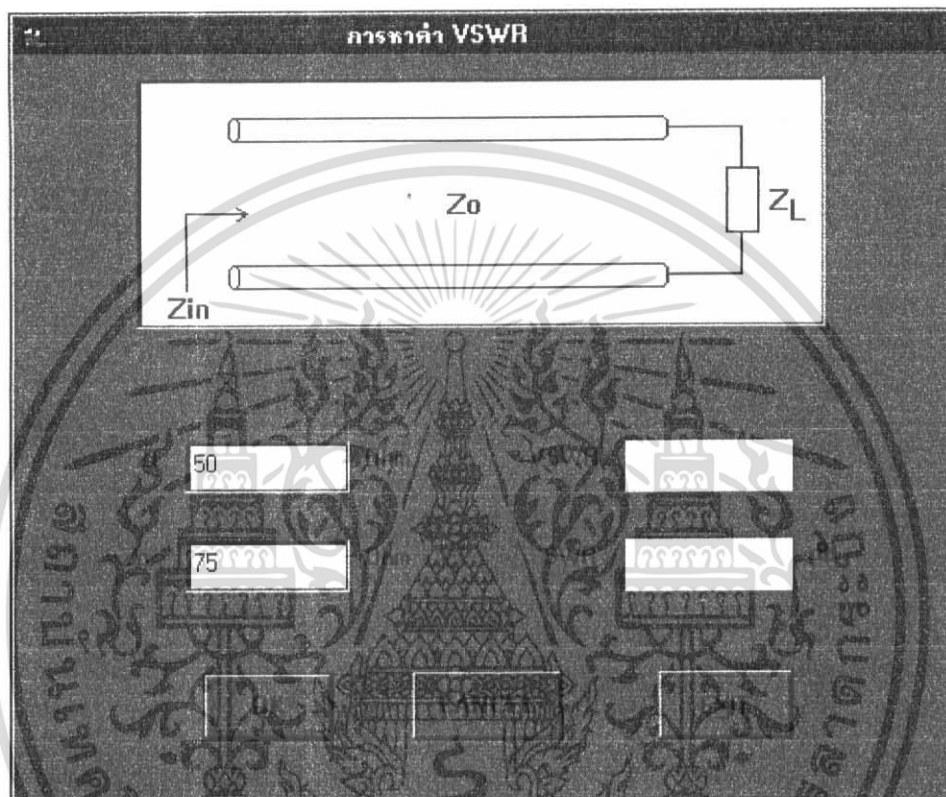
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



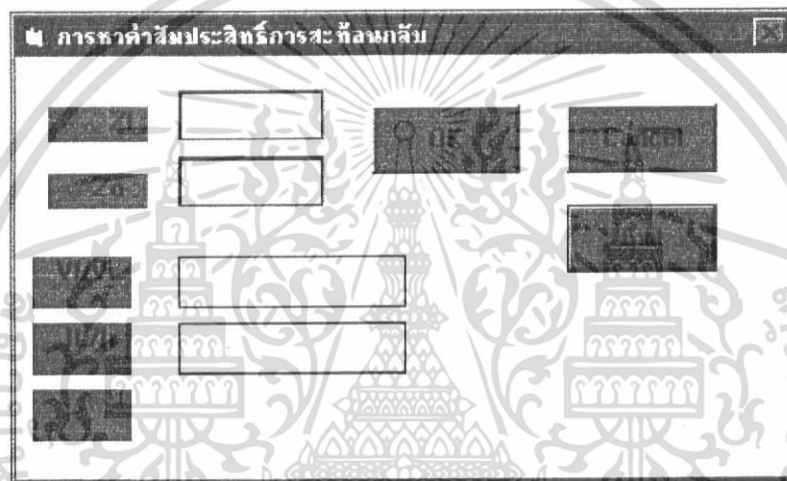
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



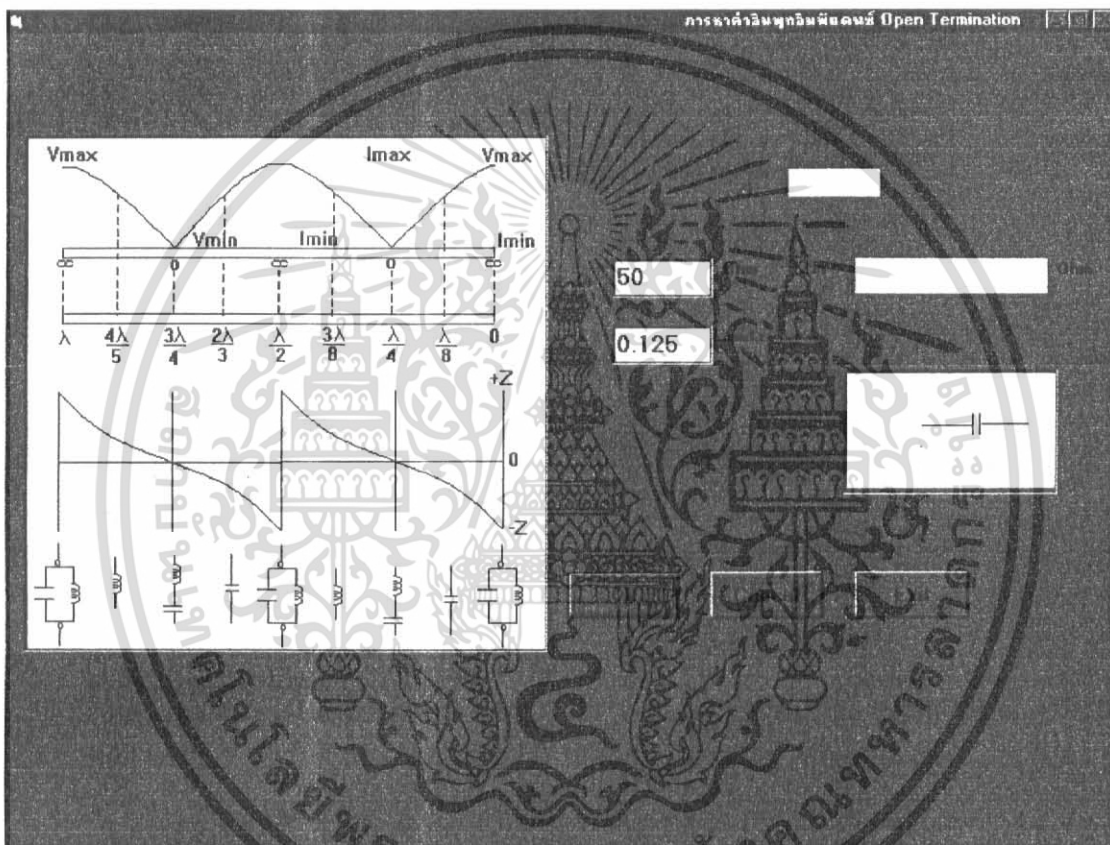
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



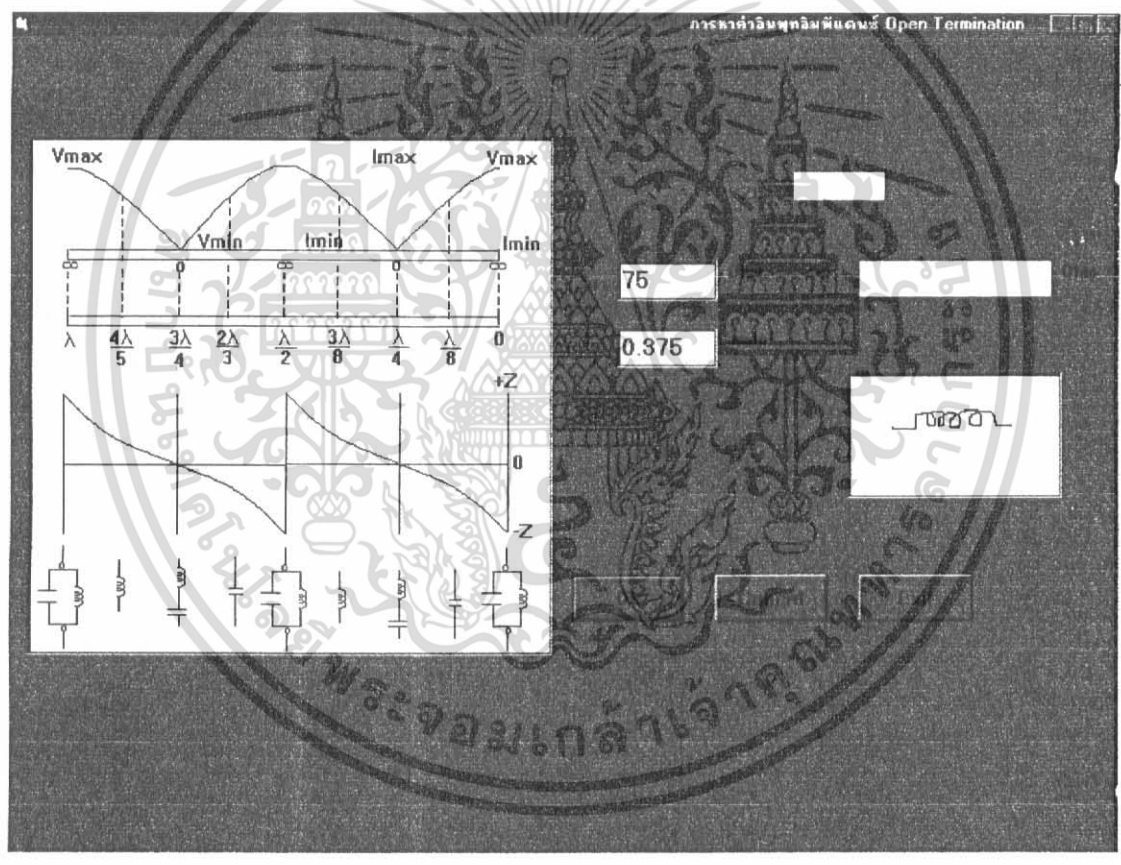
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



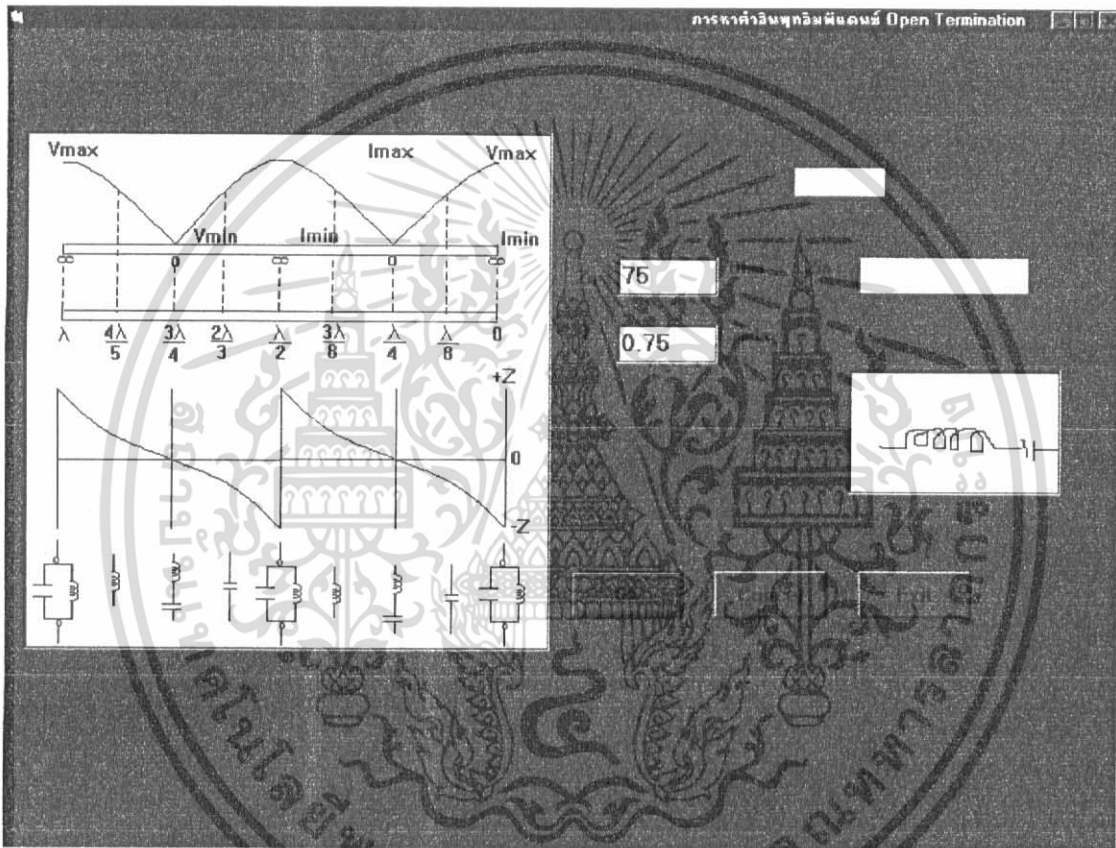
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



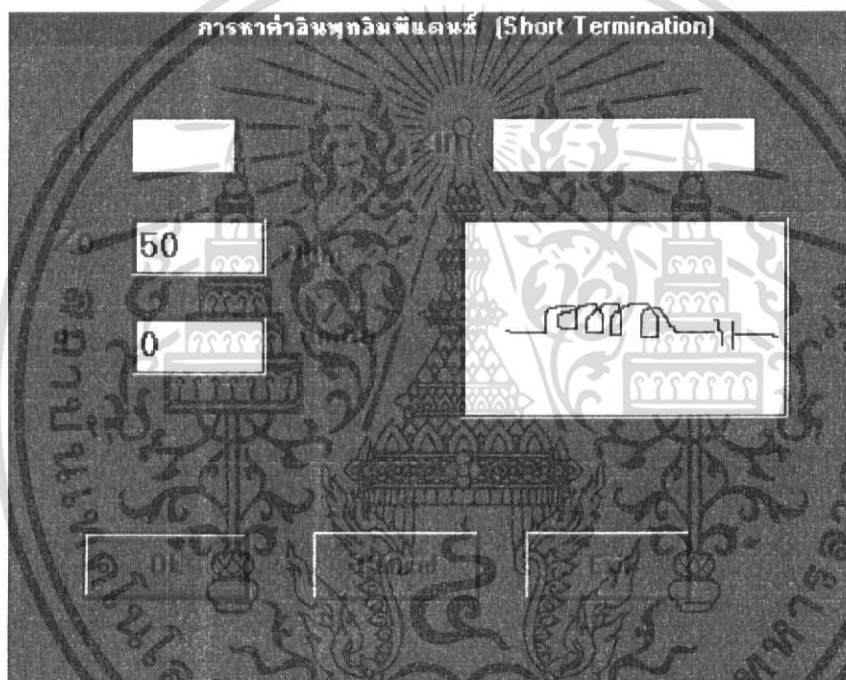
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทสรุปและวิจารณ์

เนื่องจากในปัจจุบันชุดทดลองสายอากาศและสายนำสัญญาณยังมีน้อยจึงทำโครงการขึ้นนี้ขึ้น แต่ก็มีปัญหาอยู่บ้าง เนื่องจากชุดทดลองที่ทำขึ้นใช้หลักการของสตัด ซึ่งในทางปฏิบัติยังมีใช้อยู่ น้อย จึงค่อนข้างยุ่งยากในการนำมาประยุกต์ใช้กับชุดทดลอง ซึ่งจากการทดลอง เมื่อใส่สตัดเข้าไปทางด้านส่งจะได้ค่า VSWR ลดลง และเมื่อวัดรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศต่าง ๆ ทางด้านรับ จะได้ค่าความแรงสูงขึ้น ซึ่งในการออกแบบตำแหน่งที่จะต่อสตัดมีปัญหาอยู่บ้างตรงที่เมื่อได้ตำแหน่งที่จะต่อแล้ว แต่ตำแหน่งนั้นอยู่ใกล้สายอากาศมาก ตรงกับหัวคอนเนคเตอร์ของสายอากาศ จึงต้องเปลี่ยนไปยังตำแหน่งอื่นที่อยู่ใกล้เคียง ทำให้ค่าผิดพลาดเล็กน้อย



## หนังสืออ้างอิง

ทฤษฎีและการใช้งานความถี่ย่านไมโครเวฟ

พิชัย ภักดีพานิชเจริญ

B.Eng,KMIT'L( Telecommunication), 2536

หลักการทํางานเครื่องรับส่งวิทยุและระบบสื่อสาร

สุชาติ กังวารจิตต์ บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , กรุงเทพฯ ,2538

Antenna Impedance Matching

by Wilfred N. Caron Ridgecrest, California

April , 1989

Antenna And Transmission Line

by Morris Tischler , Science Instruments Co.

รวมบทความและโครงการวิทยุสมัครเล่น เล่ม 1

ทงง โชติสรยุทธ์ บ. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , กรุงเทพฯ , 2537

Z-MATCH RF Design and Analysis Smith Chart

Number One System I

พัฒนาโปรแกรมด้วย VISUAL BASIC

สยามคอมพิวเตอร์ บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) , กรุงเทพฯ , 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SOURCE CODE PROGRAM

Form1

Private Sub cmdButton1\_Click()

Form1.Hide

Form2.Show

End Sub

Private Sub cmdButton2\_Click()

Form1.Hide

Form3.Show

End Sub

Private Sub cmdButton3\_Click()

Form1.Hide

Form4.Show

End Sub

Private Sub cmdExit\_Click()

Unload Me

End

End Sub

Form2

Private Sub cmdButton1\_Click()

Form2.Hide

Form21.Show

End Sub

Private Sub cmdButton2\_Click()

Form2.Hide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Form22.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CmdButtom3_Click()
```

```
Form2.Hide
```

```
Form24.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CmdButtom4_Click()
```

```
Form2.Hide
```

```
Form23.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdExit_Click()
```

```
Form2.Hide
```

```
Form1.Show
```

```
End Sub
```

```
Form21
```

```
Private Sub cmdOk_Click()
```

```
If ((Vmax.Text = "") Or (Vmin.Text = "")) Then
```

```
VSWR.Caption = ""
```

```
SWR.Caption = ""
```

```
Picture1.Visible = False
```

```
Label5.Visible = False
```

```
MsgBox ("กรุณาใส่ข้อมูลด้วย!")
```

```
ElseIf (Vmax.Text = "0") And (Vmin.Text = "0") Then
```

```
MsgBox ("Input Data Error")
```

```
Picture1.Visible = False
```

```
Label5.Visible = False
```

```
CmdCancel.Cancel = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ElseIf ((Vmax.Text = "0") And (Vmin.Text <> "0")) Then
MsgBox ("Input Vmax Error")
Picture1.Visible = False
Label5.Visible = False
Vmax.Text = Cancel
ElseIf ((Vmax.Text <> "0") And (Vmin.Text = "0")) Then
VSWR.Caption = "Infinity"
SWR.Caption = "Infinity"
Picture1.Visible = True
Label5.Visible = False
ElseIf Val(Vmax) < Val(Vmin) Then
MsgBox ("Input Vmax Error")
Picture1.Visible = False
Label5.Visible = False
Vmax.Text = Cancel
Else
VSWR.Caption = Val(Vmax.Text) / Val(Vmin.Text)
SWR.Caption = 20 * 0.4342944819 * Log(VSWR)
Picture1.Visible = True
Label5.Visible = True
End If
End Sub

```

```
Private Sub cmdCancel_Click()
```

```
Vmax.Text = ""
```

```
Vmin.Text = ""
```

```
VSWR.Caption = ""
```

```
SWR.Caption = ""
```

```
Picture1.Visible = False
```

```
Label5.Visible = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End Sub

Private Sub cmdExit\_Click()

Form21.Hide

Form2.Show

Unload Me

End Sub

Form22

Private Sub cmdOk\_Click()

If ((Imax.Text = "") Or (Imin.Text = "")) Then

MsgBox ("กรุณาใส่ข้อมูลด้วยครับผม !")

Picture1.Visible = False

Label5.Visible = False

ElseIf ((Imax.Text = "0") And (Imin.Text = "0")) Then

MsgBox ("Input Data Error")

Picture1.Visible = False

Label5.Visible = False

ElseIf ((Imax.Text = "0") And (Imin.Text < "0")) Then

MsgBox ("Input Imax Error")

Picture1.Visible = False

Label5.Visible = False

ElseIf ((Imax.Text < "0") And (Imin.Text = "0")) Then

VSWR.Caption = "Infinity"

SWR.Caption = "Infinity"

Label5.Visible = False

Picture1.Visible = True

ElseIf Val(Imax) < Val(Imin) Then

MsgBox ("Input Data Error Imax must >= Imin")

Picture1.Visible = False

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Label5.Visible = False
Else
VSWR.Caption = (Imax) / (Imin)
SWR.Caption = 20 * 0.4342944819 * Log(VSWR)
Picture1.Visible = True
Label5.Visible = True
End If
End Sub

```

```
Private Sub cmdCancel_Click()
```

```
Imax.Text = ""
```

```
Imin.Text = ""
```

```
VSWR.Caption = ""
```

```
SWR.Caption = ""
```

```
Picture1.Visible = False
```

```
Label5.Visible = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdExit_Click()
```

```
Form22.Hide
```

```
Form2.Show
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Form23
```

```
Private Sub cmdOk_Click()
```

```
Dim A As Integer
```

```
Dim B As Integer
```

```
If ((Z1.Text = "") Or (Zo.Text = "")) Then
```

```
Picture1.Visible = False
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Label7.Visible = False
MsgBox ("กรุณาป้อนข้อมูลด้วย !")
ElseIf ((Zl.Text = "0") And (Zo.Text = "0")) Then
Picture1.Visible = False
Label7.Visible = False
MsgBox ("กรุณาป้อนข้อมูลใหม่")
ElseIf (Zo.Text = "0") Then
Picture1.Visible = False
Label7.Visible = False
MsgBox ("กรุณาป้อนค่า Zo ใหม่")
Zo.Text = ""
ElseIf (Zl.Text = "0") Then
Picture1.Visible = True
Label7.Visible = False
VSWR.Caption = "Infinity"
SWR.Caption = "Infinity"
Else
A = Val(Zl) - Val(Zo)
B = Val(Zl) + Val(Zo)
Reflect = (A) / (B)
VSWR.Caption = (1 + Abs(Reflect)) / (1 - Abs(Reflect))
SWR.Caption = 20 * 0.4342944819 * Log(VSWR)
Picture1.Visible = True
Label7.Visible = True
End If
End Sub

Private Sub cmdCancel_Click()
Zl.Text = ""
Zo.Text = ""

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

VSWR.Caption = ""
SWR.Caption = ""
Picture1.Visible = False
Label7.Visible = False
End Sub

```

```

Private Sub cmdExit_Click()
Form2.Show
Form23.Hide
Unload Me
Picture1.Visible = False
Label7.Visible = False
End Sub

```

```

Form24
Private Sub cmdOk_Click()
If ((Vi.Text = "") Or (Vr.Text = "")) Then
MsgBox ("กรุณาใส่ข้อมูลด้วยครับผม !")
Picture1.Visible = False
Label7.Visible = False
Vmax.Caption = ""
Vmin.Caption = ""
VSW.Caption = ""
SWR.Caption = ""
ElseIf (Val(Vi.Text) < Val(Vr.Text)) Then
MsgBox (" Input Vi Error ,Vi must > Or = Vr")
Picture1.Visible = False
Label7.Visible = False
Vi.Text = ""
ElseIf (Vi.Text = "0") Then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MsgBox ("Input Vi Error")
```

```
Vi.Text = ""
```

```
Vmax.Caption = ""
```

```
Vmin.Caption = ""
```

```
VSW.Caption = ""
```

```
SWR.Caption = ""
```

```
Picture1.Visible = False
```

```
Label7.Visible = False
```

```
Elseif (Vi.Text) = (Vr.Text) Then
```

```
Vmax.Caption = Val(Vi) + Val(Vr)
```

```
Vmin.Caption = Val(Vi) - Val(Vr)
```

```
VSW.Caption = "Infinity"
```

```
SWR.Caption = "Infinity"
```

```
Label7.Visible = False
```

```
Picture1.Visible = True
```

```
Else
```

```
Vmax.Caption = Val(Vi) + Val(Vr)
```

```
Vmin.Caption = Val(Vi) - Val(Vr)
```

```
VSW.Caption = Val(Vmax.Caption) / Val(Vmin.Caption)
```

```
SWR.Caption = ((20 * 0.4342944819) * (Log(VSW)))
```

```
Picture1.Visible = True
```

```
Label7.Visible = True
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdCancel_Click()
```

```
Vi.Text = ""
```

```
Vr.Text = ""
```

```
Vmax.Caption = ""
```

```
Vmin.Caption = ""
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

VSW.Caption = ""
SWR.Caption = ""
Picture1.Visible = False
Label7.Visible = False
End Sub

```

```

Private Sub cmdExit_Click()
Form24.Hide
Form2.Show
Unload Me
Picture1.Visible = False
Label7.Visible = False
End Sub

```

```

Form3
Private Sub cmdOk_Click()
Dim Zl As Long
Dim Zo As Long
If ((Input1.Text = "") Or (Input2.Text = "")) Then
MsgBox ("กรุณาใส่ข้อมูล")
Else
Zl = Val(Input1.Text)
Zo = Val(Input2.Text)
Vtc.Caption = (2 * Zl) / (Zl + Zo)
Itc.Caption = (2 * Zo) / (Zo + Zl)
Output.Visible = True
If (Zl > Zo) Then
Out.Caption = "Vi/Vr :"
Output.Caption = (Zl - Zo) / (Zl + Zo)
ElseIf (Zl < Zo) Then

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Out.Caption = "Ii/Ir :"  

Output.Caption = (Zo - Zl) / (Zo + Zl)  

ElseIf (Zl = Zo) Then: Output.Caption = "Non-Reflected & Impedance Matching"  

Else  

End If  

End If  

End Sub

```

```
Private Sub cmdCancel_Click()
```

```
Input1.Text = ""
```

```
Input2.Text = ""
```

```
Vtc.Caption = ""
```

```
Itc.Caption = ""
```

```
Output.Visible = False
```

```
Output.Caption = ""
```

```
Out.Caption = ""
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdExit_Click()
```

```
Form3.Hide
```

```
Form1.Show
```

```
Unload Me
```

```
End Su
```

```
Form4
```

```
Private Sub cmdButton1_Click()
```

```
Form4.Hide
```

```
Form41.Show
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub cmdButton2_Click()
```

```
Form4.Hide
```

```
form42.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdExit_Click()
```

```
Form1.Show
```

```
Form4.Hide
```

```
End Sub
```

```
Form41
```

```
Private Sub cmdOk_Click()
```

```
If ((Zo.Text = "") Or (Length.Text = "")) Then
```

```
MsgBox ("กรุณาใส่ข้อมูลด้วยครับผม !")
```

```
ElseIf (Zo.Text = "0") Then
```

```
MsgBox ("Input Data Error")
```

```
ElseIf ((Length.Text = "0.25") Or (Length.Text = "0.75") Or (Length.Text = "0.250") Or  
(Length.Text = "0.750")) Then
```

```
Zin.Caption = "0"
```

```
Picture1.Visible = True
```

```
Picture3.Visible = False
```

```
Picture4.Visible = False
```

```
Picture5.Visible = False
```

```
Label8.Visible = False
```

```
Label9.Visible = False
```

```
CmdGraph.Visible = True
```

```
ElseIf ((Length.Text = "0") Or (Length.Text = "0.5") Or (Length.Text = "1") Or (Length.Text =  
"0.50")) Then
```

```
Zin.Caption = "Infinity"
```

```
Picture3.Visible = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Picture1.Visible = Clear
Picture4.Visible = Clear
Picture5.Visible = Clear
Label8.Visible = Clear
Label9.Visible = Clear
CmdGraph.Visible = True
Else
Zin.Caption = (-Zo) / Tan(6.283185308 * Length)
If (Zin.Caption < "0") Then
Picture4.Visible = True
Picture1.Visible = Clear
Picture3.Visible = Clear
Picture5.Visible = Clear
Label8.Visible = True
Label9.Visible = True
CmdGraph.Visible = True
ElseIf (Zin.Caption > "0") Then
Picture1.Visible = False
Picture3.Visible = False
Picture4.Visible = False
Picture5.Visible = True
Label8.Visible = True
Label9.Visible = True
CmdGraph.Visible = True
End If
End If
End Sub

```

```
Private Sub cmdCancel_Click()
```

```
Zo.Text = ""
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Length.Text = ""
Zin.Caption = ""
Label8.Visible = False
Label9.Visible = False
CmdGraph.Visible = False
If (Picture1.Visible = True) Then
Picture1.Visible = False
Elseif (Picture3.Visible = True) Then
Picture3.Visible = False
Elseif (Picture4.Visible = True) Then
Picture4.Visible = False
Elseif (Picture5.Visible = True) Then
Picture5.Visible = False
End If
End Sub

Private Sub cmdExit_Click()
Zin.Caption = ""
Zo.Text = ""
Length.Text = ""
Picture1.Visible = False
Picture3.Visible = False
Picture4.Visible = False
Picture5.Visible = False
Label8.Visible = False
Label9.Visible = False
CmdGraph.Visible = False

Form41.Hide
Form4.Sho

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Private Sub CmdGraph_Click()
Picture2.Visible = True
CmdExit1.Visible = True
End Sub

```

```

Private Sub CmdExit1_Click()
Picture2.Visible = False
CmdExit1.Visible = False
End Sub

```

Form42

```

Private Sub cmdOk_Click()
If ((Zo.Text = "") Or (Length.Text = "")) Then
MsgBox ("กรุณาใส่ข้อมูลด้วยครับผม ! ")
ElseIf (Zo.Text = "0") Then
MsgBox ("Input Data Error")
ElseIf ((Length.Text = "0.25") Or (Length.Text = "0.250") Or (Length.Text = "0.75") Or
(Length.Text = "0.750")) Then
Zin.Caption = "Infinity"
Picture2.Visible = True
Picture3.Visible = Clear
Picture4.Visible = Clear
Picture5.Visible = Clear
Label10.Visible = False
Label11.Visible = Fals
CmdGraph.Visible = True
ElseIf ((Length.Text = "0") Or (Length.Text = "0.5") Or (Length.Text = "0.50") Or (Length.Text
= "1")) Then
Zin.Caption = "0"
Picture3.Visible = True

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Label10.Visible = False
Label11.Visible = True
CmdGraph.Visible = True
Else
Zin.Caption = (Zo) * (Tan(6.283185308 * Length))
If (Zin.Caption = "0") Then
Picture2.Visible = False
Picture4.Visible = False
Picture5.Visible = False
Picture3.Visible = True
Label10.Visible = False
Label11.Visible = True
CmdGraph.Visible = True
ElseIf (Zin.Caption < "0") Then
Picture2.Visible = False
Picture3.Visible = False
Picture5.Visible = False
Picture4.Visible = True
Label10.Visible = True
Label11.Visible = True
CmdGraph.Visible = True
ElseIf (Zin.Caption > "0") Then
Picture2.Visible = False
Picture3.Visible = False
Picture4.Visible = False
Picture5.Visible = True
Label10.Visible = True
Label11.Visible = True
CmdGraph.Visible = True
End If

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

End If

End Sub

Private Sub cmdCalcel\_Click()

Zo.Text = ""

Length.Text = ""

Zin.Caption = ""

Picture2.Visible = False

Picture3.Visible = False

Picture4.Visible = False

Picture5.Visible = False

Label10.Visible = False

Label11.Visible = False

CmdGraph.Visible = False

End Sub

Private Sub cmdExit\_Click()

form42.Hide

Form4.Show

Picture2.Visible = False

Picture3.Visible = False

Picture4.Visible = False

Picture5.Visible = False

Label5.Visible = False

Label7.Visible = False

CmdGraph.Visible = False

Unload Me

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub cmdExit_Click()
```

```
form42.Hide
```

```
Form4.Show
```

```
Picture2.Visible = False
```

```
Picture3.Visible = False
```

```
Picture4.Visible = False
```

```
Picture5.Visible = False
```

```
Label5.Visible = False
```

```
Label7.Visible = False
```

```
CmdGraph.Visible = False
```

```
Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CmdGraph_Click()
```

```
Picture1.Visible = True
```

```
CmdExit1.Visible = True
```

```
End Sub
```

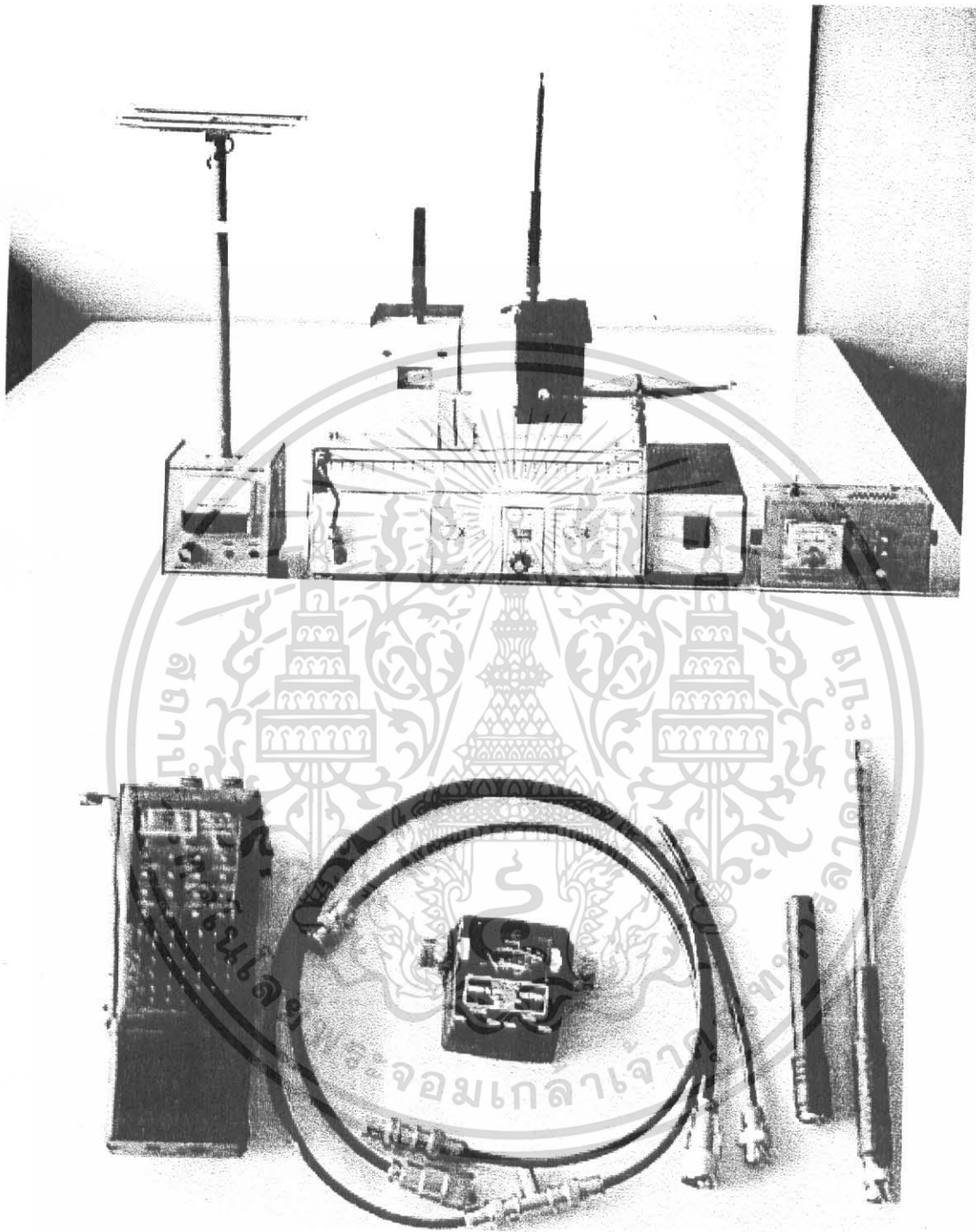
```
Private Sub CmdExit1_Click()
```

```
Picture1.Visible = False
```

```
CmdExit1.Visible = False
```

```
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

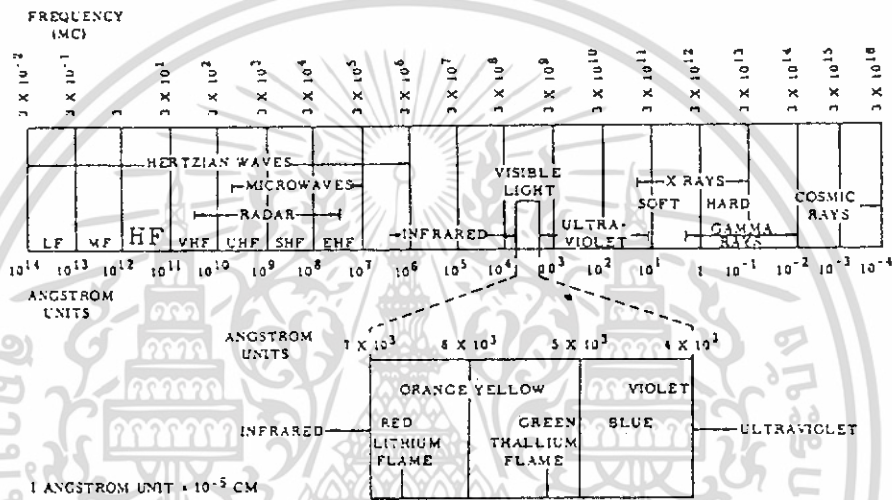


รูปแสดงเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้กับชุดทดลองและชุดสาธิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONVERSION FACTORS

- Radar signal velocity =  $186 \times 10^3$  statute miles or  $162 \times 10^3$  nautical miles per second
- One statute mile = 5280 feet
- One nautical mile = 6080.2 ft = 1853.184 meters
- One radar mile = 12.6 microseconds (signal out + back)
- One radar mile = one nautical mile
- One inch = 2.54 cm.
- One foot = 30.48 cm.
- One meter = 39.37 inches
- One radian =  $\frac{180}{\pi}$  degrees =  $57.3^\circ$



Electromagnetic Wave Spectrum

Frequency	3 KHZ	30 KHZ	300 KHZ	3 MHz	30 MHz	300 MHz	3 GHz	30 GHz	300 GHz	
Designation	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF Microwaves		EHF	
Bands						P	L	S	X	K
Maximum Range (Miles)	World-wide	3000	5000	12,000	Line of sight (sporadic long ranges)	Line of sight	Line of sight	Line of sight	Line of sight	
Propagation	D-layer reflection	D-layer reflection	E-layer reflection	F-layer reflection	Sporadic ionosphere reflection	Sporadic atmospheric reflection	Sporadic ducting & some atmospheric absorption	Great atmospheric absorption		
External Interference Sources	Man made & natural	Man made & natural	Man made & natural	Man made & natural	Man made	None	None	None		
Transmission Lines	Open wire	Open wire	Open wire	Open wire	Open wire & coaxial	Coaxial open wire, & waveguide	Waveguide	Waveguide		
Applications	Communications, experimental	Communications, navigation	Communications, navigation	Communications, navigation, control, medical	Communications, navigation, television, control, relay, radar, industrial, medical	Communications, navigation, television, control, relay, radar, medical	Communications, navigation, control, relay, radar, industrial, nuclear resonance	Atomic clocks, nuclear, resonance, radar, control, experimental		

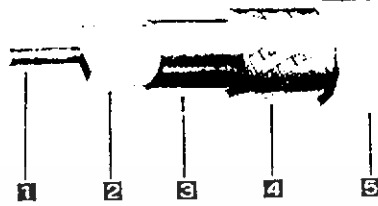
Characteristics of Radio Waves

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Symbol	Practical Units	Definition
1. Field intensity	$E$	V/m microvolts per meter	The measure of strength of electromagnetic radiation at a point in space. This is usually done at the location of a receiving antenna.
2. Power density	$P_d$	$\text{mW/m}^2$ milliwatts per square meter	This is the effective power of a radiated signal at a point in space. It is a function of the field intensity and the impedance of free space.
3. Free-space characteristic impedance	$Z_0$	ohms	The value of the impedance is approximately 377. It is the result of the extension of the impedance theory to include electromagnetic waves.
4. Open-circuit voltage induced in an antenna	$E_i$	Volts	The voltage measured with a high-impedance device across the open terminals of an antenna. It is created by the field intensity ( $E$ ).
5. Effective area of an antenna	$A_e$	meter <sup>2</sup>	A measure of the power-transfer capabilities of an antenna: $A_e = P_r/P_d$
6. Effective length of an antenna	$l_e$	meters	A measure of the voltage-transfer characteristic: $l_e = \frac{E_i}{E}$
7. Power and voltage received at receiver load	$P_r$ $E_r$	milliwatts microvolts	The voltage induced and the power dissipated in the receiver input load by the field intensity present.
8. Antenna gain (absolute)	$G$ - $G$	numerical dB	This figure represents the ratio of the power radiated in a given direction from an antenna to that of an isotropic radiator radiating the same total power. This is the normal measure of antenna gain in field-intensity equations.
9. Spectrum density	$E$ or $P_{tr}$	dB above 1 mV/mHz or dB above 1 mW/MHz	A power measure used to establish the power available in a transmitted signal which can be intercepted by various bandwidth receivers. By taking into account the bandwidth, one can arrive at total received power.
10. a. Signal-to-noise ratio	$S/N$ $20 \text{ Log } S/I$	Volts/Volts dB	Normal measure of receiver merit: S = signal N = internally generated noise
b. Signal-to-interference ratio	$S/I$ $20 \text{ Log } S/I$	Volts/Volts dB	Normal measure of the degree of interference: S = signal I = interference
c. Interference-to-noise ratio	$I/N$ $20 \text{ Log } I/N$	Volts/Volts dB	Parameter for discerning the degree of interference.
11. RLOS			Radio-line of sight.
12. ERP		Watts	Effective radiated power of a transmitter, considering antenna gain, line losses, etc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- 1. INNER CONDUCTOR
- 2. DIELECTRIC
- 3, 4. OUTER CONDUCTOR
- 5. SAIRTH

**\* CONSTRUCTION**

เบอร์ที่กำกับหน้า		5D-SFB-NL	8D-SFB-NL	10D-SFB-NL	12D-SFB-NL
INNER CONDUCTOR (IAC)	mm	1.9	3.0	3.9	4.8
DIELECTRIC (IPEHF)	mm	5.0	7.8	10.0	12.4
OUTER CONDUCTOR (AI-TAPE & TAC BRADEI)	mm	5.8	8.8	11.0	13.6
OUTER SHIETH (PVC)	mm	7.6	11.1	13.0	15.6

เบอร์ที่กำกับหน้า	ความยาว (ม.)
5D-SFB-NL	50 ๖๕
8D-SFB-NL	50 ๖๕
10D-SFB-NL	๕ ๖๕
12D-SFB-NL	50 ๖๕

**ELECTRICAL PROPERTIS**

	Ω	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2	50 ± 2
CHARACTERISTIC IMPEDANCE					
CAPACITANCE	nF/km	77	77	77	77
VELOCITY OF PROPAGATION	%	88	88	88	88
MAXIMUM CONDUCTER RESISTANCE (20°C)	Ω/km	5.65	2.61	1.40	-
TEST VOLTAGE	V/min	1000	1000	1000	1000
DIELECTRIC STRENGTH	HO-kv	1000	1000	1000	1000
ATTENUATION	dB/km				
AT 150MHz		72	48	38	31
400MHz		121	82	65	54
900MHz		187	129	103	87
1200MHz		220	153	122	104

**2V Type**

**คุณลักษณะ :**

เป็นสาย POLYETHYLENE ที่ใช้งานในย่านความถี่สูง มีอิมพีแดนซ์คงที่  
ด้วยสามารถดัดโค้งให้โค้งงอได้โดยง่าย

**การใช้งาน :**

- TRANSMIT OF IMAGE, VOICE
- TRANSMIT SIGNAL, CIRCUIT
- CONNECTION OF EQUIPMENT









- 1. INNER CONDUCTOR (ANEALED WIRE) COPPER WELD WIRE
- 2. INSULATION (POLIETHYLENE)
- 3. OUTER CONDUCTOR (ANEALED WIRE) SOFT BRAIDED WIRE
- 4. SHEATH (PVC)

เบอร์ที่กำกับหน้า	ความยาว (ม.)
1.5D-2V	100
3D-2V	100
5D-2V	100
8D-2V	100
10D-2V	100
3C-2V	80 100
5C-2V	80 100

**2V TYPE HIGH FREQUENCY COAXIAL CABLES  
STRUCTURE AND ELECTRICAL FEATURE**

เบอร์ที่กำกับหน้า	INNER CONDUCTOR	INSULATION OUTSIDE DIA (MM)	OUTER CONDUCTOR DIA. (MM)	SHEATH DIA. (MM)	CONDUCTOR RESISTANCE (20°C) OHM/KM	TEST VOLT. AC V 3 MIN.	CAPACITANCE nF /KM ABOUT	CHARACTERISTIC IMPEDANCE OHM (10MHz)	ATTENUATION dB/KM 400 500 MHz MHz	INSULATION RESISTANCE MOH/KM OVER
D SHAPE (50 OHM)										
1.5D-2V	7/0.18MM	1.6	2.2	3.0	110	300	104	50 ± 2		1000
3D-2V	7/0.32	3.0	3.7	5.3	30.3	1000	100	50 ± 2	308 471	1000
5D-2V	1/1.4	4.8	5.5	7.3	11.7	1000	100	50 ± 2	184 253	1000
8D-2V	1/2.3	7.8	8.7	11.1	4.23	1000	100	50 ± 2	121 196	1000
10D-2V	1/2.9	9.7	10.7	13.1	2.67	1000	102	50 ± 2	101 164	1000
MATERIAL : INNER CONDUCTOR : AC (ANEALED WIRE) INSULATION : POLYETHYLENE : OUTER CONDUCTOR : SOFT BRAIDED WIRE. THEATHED : PVC (VINYL) XX MARK : TWISTED WIRES										
E SHAPE (75 OHM)										
3C-2V	1/0.5	3.1	3.7	5.2	91.4	1000	88	75 ± 3	200 396	1000
5C-2V	1/0.8	4.8	5.4	7.2	38.0	1000	67	75 ± 3	131 283	1000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>รุ่น MNC-601S ฐานเสียบ BNC</p> 	<p>รุ่น MNC-576 ปลั๊ก BNC</p> 	<p>รุ่น MNC-541 ปลั๊ก BNC คู่ หัวท้าย ตัวผู้</p> 	<p>รุ่น MNC-532L ปลั๊ก BNC แบบขาของ</p> 																				
<p>รุ่น MNC533T BNC-T-ADAPTOR</p> 	<p>รุ่น MNC-540 ปลั๊ก BNC คู่ หัวท้าย ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น MNC-534T ปลั๊ก BNC 3 ทาง ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น MNC-580 PL-259 ต่อกับแจ๊ค BNC</p> 																				
<p>รุ่น MNC-575 ปลั๊ก BNC คู่กับแจ๊ค PL-259</p> 	<p>รุ่น MR-587/6 (PL-259) UHF คอนเน็คเตอร์ RG58</p> 	<p>รุ่น MR-587/9 (PL-259) UHF คอนเน็คเตอร์</p> 	<p>รุ่น MR-589 แจ๊คคอนเน็คเตอร์ ใช้กับสายเคเบิลโคแอกเซียล แบบมีฐานยึด</p> 																				
<p>รุ่น MR-588 แจ๊คคอนเน็คเตอร์ ใช้กับสายเคเบิลโคแอกเซียล แบบติดตั้ง</p> 	<p>รุ่น MR-592 โคแอกเซียลเคเบิล คอนเน็คเตอร์</p> 	<p>รุ่น MR-593 โคแอกเซียลเคเบิล คอนเน็คเตอร์ UHF 3 ทาง</p> 	<p>รุ่น MR-594 โคแอกเซียลเคเบิล คอนเน็คเตอร์</p> 																				
<p>รุ่น MR-590 เป็นคอนเน็คเตอร์แบบ โลหะใช้ต่อกับสายเคเบิลโคแอกเซียล</p> 	<p>รุ่น MR-597C UHF คอนเน็คเตอร์ แบบ CRIMP TYPE</p> 	<p>รุ่น MR-598C BNC คอนเน็คเตอร์ แบบ CRIMP TYPE</p> 	<p>รุ่น MNC-703 TNC RECEPTACLE</p> 																				
<p>รุ่น MNC-700 ปลั๊กเคเบิล TNC ตัวผู้</p> 	<p>รุ่น MNC-701 ปลั๊กเคเบิล TNC ตัวผู้</p> 	<p>รุ่น MNC-702 ปลั๊ก TNC แบบ CRIMP TYPE</p> 	<p>รุ่น MNC-706 ปลั๊ก TNC หัว TNC ตัวผู้ต่อกับ UHF ตัวเมีย</p> 																				
<p>รุ่น MNC-707 ปลั๊ก TNC หัว TNC ตัวผู้ต่อกับ TNC ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น MNC-708 ปลั๊ก TNC ตัวผู้ ต่อกับ N ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น MNC-591 ปลั๊ก BNC หัว BNC ตัวผู้ต่อกับ TNC ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น MNC-664 ปลั๊กหัว BNC ตัวเมียต่อกับ N ตัวเมีย</p> 																				
<p>รุ่น MNC600 BNC RECEPTACLES</p> 	<p>รุ่น MNC-600A BNC RECEPTACLES</p> 	<p>รุ่น MNC-650 รุ่น MNC-651 รุ่น MNC-652</p> 	<p>N MALE CONNECTOR</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>L</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MNC-650</td> <td>27</td> <td>21</td> <td>18</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>MNC-651</td> <td>42</td> <td>21</td> <td>18</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>MNC-652</td> <td>42</td> <td>21</td> <td>18</td> <td>11</td> </tr> </tbody> </table> 		L	A	B	D	MNC-650	27	21	18	15	MNC-651	42	21	18	15	MNC-652	42	21	18	11
	L	A	B	D																			
MNC-650	27	21	18	15																			
MNC-651	42	21	18	15																			
MNC-652	42	21	18	11																			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>รุ่น CH-7433 TNC ตัวผู้ แบบ 2 ทาง</p> 	<p>รุ่น CH-7438 TNC ตัวผู้ ต่อกับ BNC ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น CH-7440 TNC ตัวผู้ ต่อกับ N ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น CH-7443 TNC ตัวผู้ ต่อกับ UHF ตัวเมีย</p> 
<p>รุ่น CH-7450 TNC ตัวผู้ 3 ทาง</p> 	<p>รุ่น CH-7501 UHF ตัวผู้ แบบ CRIMP TYPE RG58/U</p> 	<p>รุ่น CH-7502 UHF ตัวผู้ แบบ MOLDED CRIMP TYPE RG58/U</p> 	<p>รุ่น CH-7506 UHF ตัวผู้ RG58/U RG8/U</p> 
<p>รุ่น CH-7509 UHF ตัวผู้ ขาของแบบ TWIST ON</p> 	<p>รุ่น CH-7511 SO-239 UHF ตัวเมียแบบ SOLDER, PANEL RE-</p> 	<p>รุ่น CH-7512 UHF ตัวเมีย แบบมี BULKHEAD</p> 	<p>รุ่น CH-7513 UHF ตัวเมีย ขาของแบบ TWIST ON</p> 
<p>รุ่น CH-7519 UHF ตัวผู้ 1.ต่อกับ BNC ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น CH-7523 UHF ตัวผู้ ต่อกับ TNC ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น CH-7526 UHF ตัวผู้ใช้ ต่อกับ UHF ตัวเมียแบบ 3 ทาง</p> 	<p>รุ่น CH-7527 UHF ตัวผู้ ต่อกับตัวเมีย UHF 2 ทาง</p> 
<p>รุ่น CH-7601 UHF ตัวผู้ ขนาดเล็กแบบ CRIMP TYPE RG58/U</p> 	<p>รุ่น CH-7602 UHF ตัวผู้ ขนาดเล็กแบบ CRIMP TYPE</p> 	<p>รุ่น CH-7603 UHF ตัวเมีย แบบ CRIMP TYPE RG58/U</p> 	<p>รุ่น CH-7604 UHF ตัวเมีย ขนาดเล็กแบบมี BULKHEAD</p> 
<p>รุ่น CH-7606 UHF ตัวเมีย 2 ทาง ขนาดเล็ก</p> 	<p>รุ่น CH-7607 UHF ตัวผู้ ขนาดเล็กต่อกับ BNC ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น CH-7609 UHF ตัวผู้ ขนาดเล็กต่อกับ TNC ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น CH-7610 UHF ตัวผู้ ขนาดเล็กต่อกับ UHF ตัวเมีย</p> 
<p>รุ่น CH-7611 UHF ตัวเมีย ขนาดเล็กต่อกับ BNC ตัวผู้</p> 	<p>รุ่น CH-7613 UHF ตัวเมีย ขนาดเล็กต่อกับ TNC ตัวผู้</p> 	<p>รุ่น CH-7614 UHF ตัวเมีย ขนาดเล็กต่อกับ UHF ตัวผู้</p> 	<p>รุ่น CH-7618 UHF ขนาดเล็ก 3 ทาง</p> 
<p>รุ่น CH-7830 SMA ตัวเมีย ต่อกับ BNC ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น CH-7832 SMA ตัวเมีย ต่อกับ UHF ตัวเมียขนาดเล็ก</p> 	<p>รุ่น CH-7836 SMA ตัวเมีย ต่อกับ TNC ตัวเมีย</p> 	<p>รุ่น CH-7839 SMA ตัวเมีย ต่อกับ UHF ตัวเมีย</p> 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้