

การศึกษาลักษณะการรับรู้ของมนุษย์ต่อสัญญาณโทรทัศน์  
ON THE EXPERIMENTAL STUDIES TO ASSESS SOME CHARACTERISTICS  
OF OMNIDIRECTIONAL TELEVISION SIGNAL

นางสาวอรุณรัตน์ พงษ์สุโขทัย

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่ดำเนินการโดยศูนย์วิจัยการศึกษาด้านการสื่อสารโทรคมนาคม  
มหาวิทยาลัยสุรนารี โทรคมนาคม สำนักศึกษาเทคโนโลยีขั้นสูง มหาวิทยาลัยสุรนารี  
มหาวิทยาลัยสุรนารี ๓๑๐๐๖  
ปีพ.ศ. ๒๕๓๙

# CONTRIBUTION




## ใบรับรองโครงการทางวิศวกรรม สำนักวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี


เรื่อง การศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาคุณสมบัติสายอากาศชนิดรอบทิส

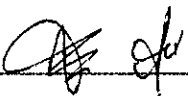
โดย นางสาวอินทรา พงษ์สง่างาน

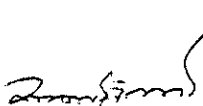
ได้รับอนุมัติให้นำเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม


  
คณบดี  
วันที่      เดือน      พ.ศ.2540

คณะกรรมการสอบ

  
ประธานกรรมการ  
(รศ.ดร./สราวุฒิ สุจิตจร)

  
กรรมการ  
(อ. สมศักดิ์ อารีดาอกร)

  
กรรมการ  
(อ. มานพ รุจิภากร)

  
กรรมการ  
(อ. รังสรรค์ วงศ์สรรคร์)

การศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาคุณสมบัติสายอากาศชนิดรอบทิศ  
ON THE EXPERIMENTAL STUDIES TO ASSESS SOME CHARACTERISTICS  
OF OMNIDIRECTIONAL TELEVISION ANTENNAE

นางสาวอินทรา พงษ์สง่างาน

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2539

ON THE EXPERIMENTAL STUDIES TO ASSESS SOME CHARACTERISTICS  
OF OMNIDIRECTIONAL TELEVISION ANTENNAE

INTRA PONGSANGANGAN

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULLMENT OF THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING  
IN TELECOMMUNICATION ENGINEERING  
THE INSTITUTE OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SURANAREE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
TRIMESTER 2 / 1996

โครงการเรื่อง การศึกษาเชิงทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของสายอากาศรอบทิศ

ผู้ดำเนินการ นางสาวอินทรา พงษ์สง่างาน

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์รังสรรค์ วงศ์สรรคร์

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

ปีการศึกษา 2539

---

#### บทคัดย่อ

ในรายงานฉบับได้นำเสนอรายละเอียดผลการศึกษาเชิงทดลองสายอากาศรอบทิศ ซึ่งมีรูปร่างแตกต่างจากสายอากาศยาก็ สายอากาศรอบทิศที่นำมาวิเคราะห์คือสายอากาศประเภทมีเส้นรอบรูปเป็นสี่เหลี่ยม (สายอากาศทีวีสกรีน™) และสายอากาศประเภทมีเส้นรอบรูปเป็นวงกลม (สายอากาศลิบทิศ™) โดยทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับสายอากาศ ได้แก่ การวิเคราะห์หากระสวนการแผ่คลื่น, อัตราขยาย และอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทั้งสองชนิด โดยสายอากาศทีวีสกรีน™ จะเป็นการนำเอาสายอากาศแบบไดโพลสำหรับความถี่ต่างกัน 2 ความถี่ซึ่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมวางอยู่บนระนาบเดียวกันส่วน สายอากาศลิบทิศ™ เป็นการนำเอาสายอากาศแบบลูปวงกลมที่มีท่ออลูมิเนียมขนาดต่างๆกันคั่นอยู่ รอบตัว โดยมีตัวบดัดแบบหม้อแปลงเป็นตัวแปลงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้แมตซ์กับสายนำสัญญาณ หลังจากทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสายอากาศทั้งสองชนิดนี้แล้วนำมาวิเคราะห์ว่าสายอากาศทั้งสองชนิดนี้ มีคุณสมบัติในการรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ดีหรือไม่เพียงใด

Project Report : ON THE EXPERIMENTAL STUDIES TO ASSESS SOME  
CHARACTERISTICS OF OMNIDIRECTIONAL TELEVISION ANTENNAE

Written by : Miss. Intra Pongsangangan

Supervisor : Mr. Rangsan Wongsan

School of Telecommunication Engineer

Trimester 2 / 1996

---

ABSTRACT

This is an experiment undergone with the main aim of establishing the parameters of two omnidirectional antennae found in the market today. They are T.V. SCREEN<sup>TM</sup> and Ten directional<sup>TM</sup>. It is also the aim of this experiment to analyze both antennae characteristics to find out the pros and cons of these antennas and make an evaluation as to its applicability to today's modern T.V. sets. T.V. SCREEN<sup>TM</sup> is vastly different from a Yagi-Uda antenna. Its dipoles are bended to form a square. The whole antenna resembles two squares, one big and one small. The small square is inside the big square. The design is unusual to modern antennas which is one of the factors that prompted this experiment. One question that needs an answer is, "Does putting all dipoles in one plane improve the antenna's receptor capabilities?" Ten directional<sup>TM</sup> is different from a Yagi-Uda antenna. It's circular in form and one the perimeter of the circle and short and long reflectors in alternate position. The antenna also carries a converter/transformer with a purpose of matching the impedance of the T.V. sets.

Impedance match, wave to signal ratios and other vital parameters of these antennas will be established and analysis and evaluation made. It is the hope of the experiment that it will determine accurately if the reception capabilities of these antennas are good or not and its compatibility with modern T.V. sets.

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำรายงานวิชาปัญหาพิเศษทางวิศวกรรมทางโทรคมนาคม จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้ หากขาดการให้ความร่วมมือช่วยเหลือจากบุคคลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ทุกท่าน เจ้าหน้าที่ประจำห้องทดลอง เพื่อนๆ และบุคคลอื่นอีกมากมายที่ไม่อาจจะกล่าวในที่นี้ได้

หมด

### ขอบคุณ

- อาจารย์รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ที่ให้คำปรึกษา, ความอนุเคราะห์ให้ยืมหนังสือ และความสะดวกในการศึกษาเครื่องมือสำหรับการออกแบบการทดลอง

- คุณเอกพจน์ อรัณยกันนที, คุณชรินทร์ รุ่งจรัส และคุณพจนีย์ เจริญเวช เจ้าหน้าที่ดูแลห้องปฏิบัติการโทรคมนาคม ที่อำนวยความสะดวกในการยืมเครื่องมือ, อุปกรณ์ และช่วยเหลือในเรื่องการทดลอง

- เพื่อนๆ วิศวกรรมโทรคมนาคมรุ่น 1 ทุกคนที่คอยให้กำลังใจในการทำรายงานวิชาปัญหาพิเศษทางวิศวกรรมทางโทรคมนาคมนี้จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณด้วยใจจริง

ผู้จัดทำ

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของการศึกษาเชิงทดลองสายอากาศรอบทิศทางชนิดต่างๆ ที่แตกต่างจากสายอากาศยาคี	1
1.2 วัตถุประสงค์และเป้าหมายของการศึกษาเชิงทดลองสายอากาศที่วีสกรีน™ และสายอากาศลึบทิศ™	2
1.3 โครงสร้างของการศึกษาเชิงทดลอง	3
1.3.1 วิธีการดำเนินการ	3
1.3.2 ขอบเขตของงาน	3
1.3.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ลักษณะของสายอากาศ	5
2.1 กล่าวนำ	5
2.2 สายอากาศยาคี (Yagi Antenna)	5
2.3 สายอากาศที่วีสกรีน™	9
2.4 สายอากาศลึบทิศ™	10
2.5 สรุป	13
บทที่ 3 พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ	14
3.1 กล่าวนำ	14
3.2 กระบวนการแผ่คลื่น	14
3.3 ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิคท์	15
3.4 ความหนาแน่นของสายอากาศ	16
3.5 ประสิทธิภาพของสายอากาศ	17
3.6 อินพุทอิมพีแดนซ์	18



เรื่อง	หน้า
3.7 เบนด์วิดท์	24
3.8 อัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดของโวลเตจในคลื่นยืน	25
3.9 อัตราขยายของสายอากาศ	27
3.10 สรุป	28
บทที่ 4 วิธีแมทซ์ในสายอากาศ	29
4.1 กล่าวนำ	29
4.2 การแมทซ์สายนำสัญญาณ	30
4.3 การแมทซ์โดยตรง	31
4.4 บาลัน (balun)	33
4.4.1 บาลันแบบหม้อแปลง	34
4.5 การแมทซ์โดยใช้สตัป	35
4.6 การแมทซ์อิมพีแดนซ์โดยใช้ลัมป์ร่วมกับวงจรกระจาย	37
4.6.1 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์รูปตัวที (T-match)	37
4.6.2 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์แบบแกมมา (Gamma)	39
4.6.3 วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์แบบโอเมก้า (Omega)	40
4.4 สรุป	41
บทที่ 5 การออกแบบการทดลองการวัดคุณสมบัติของสายอากาศในย่านความถี่ VHF	42
5.1 กล่าวนำ	42
5.1.1 สภาพแวดล้อมในการวัด	42
5.1.2 ระยะห่างที่จำเป็นในการวัด	42
5.1.3 สายอากาศ	43
5.2 การออกแบบการทดลองการวัดอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศในย่านความถี่ VHF	46
5.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	47
5.2.2 ขั้นตอนการปฏิบัติ	47
5.3 การออกแบบการทดลองการวัดกระแสสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศในย่านความถี่ VHF	49
5.3.1 อุปกรณ์การทดลอง	50

เรื่อง	หน้า
5.3.2 วิธีทำการทดลอง	50
5.4 การออกแบบการทดลองการวัดอัตราขยายของสายอากาศในย่านความถี่ VHF	51
5.4.1 อุปกรณ์การทดลอง	52
5.4.2 วิธีทำการทดลอง	52
5.5 สรุป	54
บทที่ 6 ผลการทดลอง	55
6.1 กล่าวนำ	55
6.2 ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่วิสกรีน <sup>TM</sup> และสายอากาศสลิปทิส <sup>TM</sup>	55
6.3 ผลการทดลองวัดกระแสสวนการแม่คลื่นของสายอากาศที่วิสกรีน <sup>TM</sup> และสายอากาศสลิปทิส <sup>TM</sup>	62
6.4 ผลการทดลองวัดอัตราขยายของสายอากาศที่วิสกรีน <sup>TM</sup> และสายอากาศสลิปทิส <sup>TM</sup> เทียบกับสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น	83
6.5 สรุป	85
บทที่ 7 สรุปผลการทดลอง	86
7.1 สรุปผลการทดลอง	86
7.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	87
7.3 ข้อควรแก้ไขและพัฒนา	87
ภาคผนวก ก. ช้องสถานีส่งและความถี่ของช่องต่างๆ	88
ภาคผนวก ข. เครื่องวิเคราะห์สายอากาศ	90
ภาคผนวก ค. รูปอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	98
บรรณานุกรม	106
ประวัติผู้เขียน	107

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 สายอากาศทีวีสกกรีน™	2
รูปที่ 1.2 สายอากาศสปีทิก™	2
รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบการแผ่คลื่นของสายอากาศไดโพล (ขนาด $\lambda/2$ )	6
รูปที่ 2.2 แสดงสายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น	7
รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบการแผ่คลื่นของไดโพลครึ่งความยาวคลื่นและรีฟเลกเตอร์ ในระนาบแนวราบ	7
รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบการแผ่คลื่นของไดโพลครึ่งความยาวคลื่นและรีฟเลกเตอร์ ในระนาบแนวตั้ง	8
รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบการแผ่คลื่นของไดโพลครึ่งความยาวคลื่นรีฟเลกเตอร์และ โคเรกเตอร์ในระนาบแนวนอน	8
รูปที่ 2.6 แสดงขนาดของส่วนต่างๆ ของสายอากาศทีวีสกกรีน™	9
รูปที่ 2.7 แสดงขนาดของส่วนต่างๆ ของสายอากาศสปีทิก™	11
รูปที่ 2.8 แสดงบาลันแบบหม้อแปลงกรณีที่มีอิมพีแดนซ์เป็น 1:4	13
รูปที่ 3.1 แสดงระบบโคออดิเนทสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ	15
รูปที่ 3.2 แสดงแพทเทอร์นในแบบลิเนียร์	15
รูปที่ 3.3 แสดงสายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์ (โหมดการส่ง)	20
รูปที่ 3.4 แสดงสายอากาศรับและวงจรสมมูลย์ (โหมดการรับ)	23
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นขึ้น	25
รูปที่ 4.1 แสดงการต่อ ไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่นกับสายทวินลีด 75 โอห์ม	31
รูปที่ 4.2 แสดงการต่อสายอากาศแบบครึ่งความยาวคลื่นกับสายโคแอกเซียลขนาด 75 โอห์ม	32
รูปที่ 4.3 แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 1 : 1	33
รูปที่ 4.4 แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 4 : 1	34
รูปที่ 4.5 แสดงบาลันแบบหม้อแปลง	35
รูปที่ 4.6 แสดงวิธีตัดบนสายยาว $\lambda/4$	35
รูปที่ 4.7 แสดงแมทซ์โดยวิธีตัด	36
รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างของวงจรแมทซ์ รูปตัวที และวงจรสมมูลย์	37

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.9 แสดงการใส่ค่าปาริแมตซ์เพื่อให้เกิดเรโซแนนซ์ในการแมทช์รูปตัวที และวงจรสมมูลย์	39
รูปที่ 4.10 แสดงวิธีแมทช์ แบบแกมมา โดยใช้สายโคแอกเซียลขนาด 52 โอห์มหรือ 75 โอห์ม	39
รูปที่ 4.11 แสดงการต่อตัวเก็บประจุอนุกรมเพื่อปรับค่าเรโซแนนซ์ เป็นแบบแกมมา	40
รูปที่ 4.12 แสดงวิธีแมทช์อิมพีแดนซ์แบบโอเมก้า	41
รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศยาภิแบบโคโพล	44
รูปที่ 5.2 แสดงสายอากาศแบบโคโพลมาตรฐานครึ่งความยาวคลื่น	46
รูปที่ 5.3 แสดงวงจรเรโซแนนท์ RLC	46
รูปที่ 5.4 แสดงการติดตั้งสายอากาศและเครื่องวัดที่ใช้ในการวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศในย่านความถี่ VHF	49
รูปที่ 5.5 แสดงส่วนประกอบอุปกรณ์ที่ใช้ผสมสัญญาณให้เป็น IF	50
รูปที่ 5.6 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการวัดอัตราขยายของสายอากาศของสายอากาศ VHF และ UHF	52
รูปที่ 5.7 แสดงการติดตั้งการทดลองวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ	52
รูปที่ 6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Resistance และค่า Reactance ที่มีผลต่อความถี่ของสายอากาศทีวีสกรีน™	57
รูปที่ 6.2 แสดง SMITH CHART ของสายอากาศทีวีสกรีน™	58
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Resistance และค่า Reactance ที่มีผลต่อความถี่ของสายอากาศสลิปทิส™	60
รูปที่ 6.4 แสดง SMITH CHART ของสายอากาศสลิปทิส™	61
รูปที่ 6.5 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน™ ช่อง 3	64
รูปที่ 6.6 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศสลิปทิส™ ช่อง 3	66
รูปที่ 6.7 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน™ ช่อง 5	68
รูปที่ 6.8 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศสลิปทิส™ ช่อง 5	70
รูปที่ 6.9 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน™ ช่อง 7	72
รูปที่ 6.10 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศสลิปทิส™ ช่อง 7	74
รูปที่ 6.11 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน™ ช่อง 9	76
รูปที่ 6.12 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศสลิปทิส™ ช่อง 9	78

รูปที่	หน้า
รูปที่ 6.13 แสดงกระบวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน™ ช่อง 11	80
รูปที่ 6.14 แสดงกระบวนการแผ่คลื่นของสายอากาศสลิปทิส™ ช่อง 11	82
รูปที่ 7.1 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์สายอากาศ DELICA™ รุ่น AZ1-HF	90
รูปที่ 7.2 แสดงวงจร Radio Frequency Bridge	91
รูปที่ 7.3 แสดงองค์ประกอบของระบบเครื่องส่ง	91
รูปที่ 7.4 แสดงส่วนต่างๆ ของเครื่องวิเคราะห์สายอากาศ DELICA™ รุ่น AZ1-HF	93
รูปที่ 7.5 แสดงวงจรเรโซแนนท์ RLC	94
รูปที่ 7.6 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (SIGNAL GENERATOR)	98
รูปที่ 7.7 เครื่องวัดระดับสัญญาณ (FIELD STRENGTH ANALYSER)	99
รูปที่ 7.8 เครื่องมือวิเคราะห์สายอากาศ (ANTENNA ANALYZER)	99
รูปที่ 7.9 สายอากาศไคโพลครึ่งความยาวคลื่น (SLIDE ANTENNA)	100
รูปที่ 7.10 สายอากาศทีวีสกรีน™	101
รูปที่ 7.11 สายอากาศสลิปทิส™	101
รูปที่ 7.12 แสดงสายอากาศยาก็แบบไคโพลช่อง 3	102
รูปที่ 7.13 แสดงสายอากาศยาก็แบบไคโพลช่อง 5	102
รูปที่ 7.14 แสดงสายอากาศยาก็แบบไคโพลช่อง 7	103
รูปที่ 7.15 แสดงสายอากาศยาก็แบบไคโพลช่อง 9	103
รูปที่ 7.16 แสดงสายอากาศยาก็แบบไคโพลช่อง 11	104
รูปที่ 7.17 แสดงการติดตั้งการทดลองหาค่ากระบวนการแผ่ คลื่น	104

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 5-1 ขนาดความยาวและช่วงห่างของตัวประกอบต่างๆ	44
ตารางที่ 5-2 แสดงความยาวของสายอากาศไดโพลมาตรฐานครึ่งความยาวคลื่น ที่เหมาะสมกับสถานีช่องต่างๆ	45
ตารางที่ 6-1 ผลการทดลองการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทีวีสกรีน <sup>TM</sup>	56
ตารางที่ 6-2 ผลการทดลองการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศลิปทิส <sup>TM</sup>	59
ตารางที่ 6-3 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน <sup>TM</sup> ช่อง 3	63
ตารางที่ 6-4 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศลิปทิส <sup>TM</sup> ช่อง 3	65
ตารางที่ 6-5 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน <sup>TM</sup> ช่อง 5	67
ตารางที่ 6-6 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศลิปทิส <sup>TM</sup> ช่อง 5	69
ตารางที่ 6-7 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน <sup>TM</sup> ช่อง 7	71
ตารางที่ 6-8 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศลิปทิส <sup>TM</sup> ช่อง 7	73
ตารางที่ 6-9 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน <sup>TM</sup> ช่อง 9	75
ตารางที่ 6-10 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศลิปทิส <sup>TM</sup> ช่อง 9	77
ตารางที่ 6-11 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน <sup>TM</sup> ช่อง 11	79
ตารางที่ 6-12 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศลิปทิส <sup>TM</sup> ช่อง 11	81
ตารางที่ 6-13 ผลของระดับสัญญาณของสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น	83
ตารางที่ 6-14 ผลของระดับสัญญาณของสายอากาศทีวีสกรีน <sup>TM</sup> และสายอากาศลิปทิส <sup>TM</sup>	83
ตารางที่ 6-15 อัตราขยายของสายอากาศทีวีสกรีน <sup>TM</sup>	84
ตารางที่ 6-16 อัตราขยายของสายอากาศลิปทิส <sup>TM</sup>	85
ตารางที่ ก-1 ช่องสถานีส่งและความถี่ของช่องต่างๆ (สถานีส่งกรุงเทพฯ)	88
ตารางที่ ก-2 ช่องสถานีส่งและความถี่ของช่องต่างๆ (สถานีส่งจังหวัดนครราชสีมา)	88

## บทที่ 1

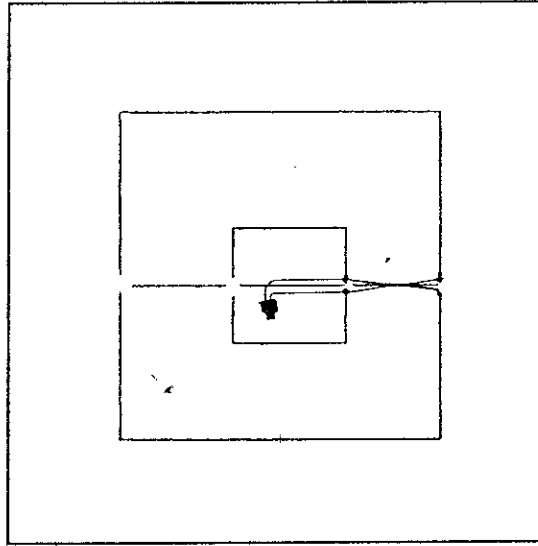
### บทนำ

#### 1.1 ปัญหาและที่มาของการศึกษาเชิงทดลอง

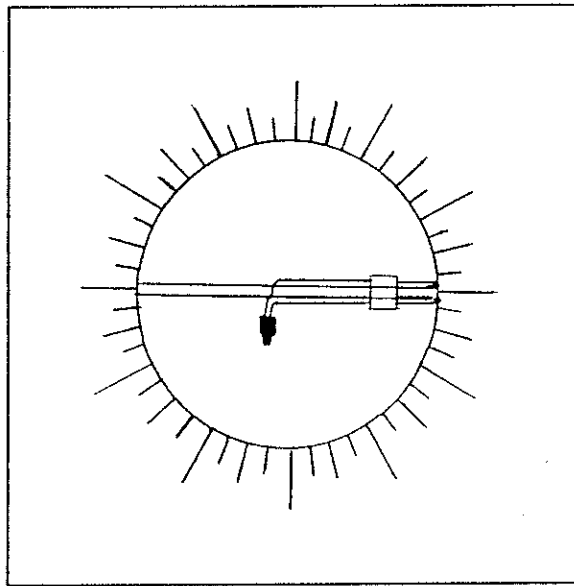
จากการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาสายอากาศวิทยุ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากยากต่อการติดตั้ง เนื่องจากการติดตั้งสายอากาศวิทยุต้องหันด้านของไดเรกเตอร์ไปทางสถานีส่ง ซึ่งจะรับสถานีรอบตัวไม่ได้ และเนื่องจากปัจจุบันมีสายอากาศใหม่ๆ ที่ใช้หลักการพื้นฐานขายทั่วไปในท้องตลาด โดยอธิบายว่าสามารถรับสัญญาณจากสถานีได้รอบตัวและง่ายต่อการติดตั้ง เนื่องจากขนาดไม่ใหญ่มาก น้ำหนักเบา แต่ยังไม่มีการค้นคว้าทดลองว่าสายอากาศชนิดนั้นจะมีความสามารถในการรับสัญญาณโทรทัศน์รอบตัวได้ดีเพียงใด

ดังนั้นจึงทำให้เกิดแนวความคิดที่ต้องการค้นคว้าเพื่อทดสอบหารูปกระสวนการแผ่คลื่น (Radiation Pattern) อัตราขยาย (Gain) และอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของสายอากาศชนิดต่างๆ ที่แตกต่างจากสายอากาศวิทยุ ซึ่งมีขายตามท้องตลาดทั่วไปเพื่อเป็นประโยชน์แก่บุคคลทั่วไป

จากการค้นคว้าเกี่ยวกับสายอากาศชนิดต่างๆ แตกต่างจากสายอากาศวิทยุซึ่งมีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไปพบว่า มีสายอากาศที่น่าสนใจจะนำมาศึกษาเพื่อหารูปกระสวนการแผ่คลื่น อัตราขยาย และอิมพีแดนซ์ คือสายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศลิปทิส™ เหตุผลที่เลือกสายอากาศทั้งสองนี้มาศึกษาเพราะสายอากาศทีวีสกรีน™ มีคุณลักษณะที่สามารถนำสายอากาศแบบไดโพลสำหรับขนาดต่างกัน 2 ความถี่ขดเป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยนำมาวางอยู่ในระนาบเดียวกัน และมีสายเชื่อมระหว่างสายอากาศไดโพลทั้งสองความถี่อยู่ในลักษณะกลับเฟสกัน สำหรับสายอากาศลิปทิส™ มีคุณลักษณะที่นำสายอากาศแบบลูปวงกลมที่มีท่อลูมิเนียมขนาดต่างๆ ติดอยู่รอบตัวสายอากาศแบบลูปวงกลม โดยมีบาลันแบบหม้อแปลงทำหน้าที่ในการแปลงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้แมตช์กับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ซึ่งจะทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นต่อสายอากาศเพื่อจะนำมาวิเคราะห์ว่าสายอากาศทั้งสองชนิดนี้ว่ามีคุณสมบัติในการรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ดีหรือไม่เพียงใด



รูปที่ 1.1 สายอากาศทีวีสกรีน™



รูปที่ 1.2 สายอากาศสลิปทิส™

1.2 วัตถุประสงค์และเป้าหมายของการศึกษาเชิงทดลองสายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศสลิปทิส™

1.2.1 เพื่อศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นของสายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศสลิปทิส™



1.2.2 เพื่อศึกษาเชิงทดลองคุณสมบัติจริงของสายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศลิปทิส™ ว่ามีคุณสมบัติในการรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ดีหรือไม่เพียงใด

1.2.3 เพื่อศึกษาเชิงทดลองและวิเคราะห์ว่าสายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศลิปทิส™ ว่าใช้งานได้จริง

## 1.8 คำโครงของการศึกษาเชิงทดลอง

### 1.8.1 วิธีการดำเนินการ

เริ่มต้นด้วยการศึกษาหลักการพื้นฐานของสายอากาศทั่วไป เช่น การศึกษากลไกการแผ่คลื่น สภาพทิศทางการของสายอากาศ รูปกระสวนการแผ่คลื่น โดยเริ่มจากการศึกษากลไกของสายอากาศลิปทิส™ และสายอากาศทีวีสกรีน™ ว่าสามารถแผ่คลื่นได้อย่างไร โดยทำการออกแบบการทดลองเพื่อหารูปกระสวนการแผ่คลื่น อัตราขยาย และทำการทดลองหาอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ จากนั้นทำการวิเคราะห์สายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศลิปทิส™ โดยสายอากาศทีวีสกรีน™ มีคุณลักษณะที่สามารถนำสายอากาศแบบไดโพลสำหรับขนาดต่างกัน 2 ความถี่ชดเป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยนำมาวางอยู่ในระนาบเดียวกัน และมีสายเชื่อมระหว่างสายอากาศไดโพลทั้งสองความถี่อยู่ในลักษณะกลับเฟสกัน โดยทำการทดลองว่าสายอากาศไดโพลขนาดต่างกัน 2 ความถี่นี้มีผลในการรับสัญญาณโทรทัศน์อย่างไร สำหรับสายอากาศลิปทิส™ มีคุณลักษณะที่นำสายอากาศแบบรูปวงกลมที่มีท่ออูมิเนียมขนาดต่างๆ ติดอยู่รอบตัวสายอากาศแบบรูปวงกลม โดยมีบาลันแบบมือแปลง ทำหน้าที่ในการแปลงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้แมตซ์กับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ โดยทำการทดลองว่าท่ออูมิเนียมต่างๆ เหล่านี้ทำหน้าที่อะไร มีประโยชน์หรือไม่อย่างไรในการรับสัญญาณรอบตัว ซึ่งทำได้โดยนำสายอากาศทั้งสองชนิดนี้มาทดลองโดยการวัดเพื่อหารูปกระสวนการแผ่คลื่น อัตราขยาย และอินพุทอิมพีแดนซ์ แล้วนำผลที่ได้จากการทดลอง ไปวิเคราะห์ว่า สายอากาศทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติในการรับสัญญาณโทรทัศน์รอบตัวได้ดีเพียงใด

### 1.8.2 ขอบเขตการงาน

จะทำการศึกษาเชิงทดลองความรู้ต่างๆ และทำการทดสอบสายลิปทิส™ และสายอากาศทีวีสกรีน™ ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกับสายอากาศยาก็ โดยทำการทดลองหารูปกระสวนการแผ่คลื่น อัตราขยาย และ อินพุทอิมพีแดนซ์ ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับสายอากาศและสามารถนำมาวิเคราะห์หาความสามารถในการรับสัญญาณโทรทัศน์ของสายอากาศสองชนิดนี้ได้

### 1.3.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถหาคุณสมบัติทั้งหมดที่จำเป็นของสายอากาศได้ เช่นรูปกระสวนการแผ่คลื่น อัตรายาย และอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ แล้วสามารถนำมาวิเคราะห์หาความสามารถในรับสัญญาณโทรทัศน์รอบทิศของสายอากาศสองชนิดนี้ได้ และสามารถวิเคราะห์ได้ว่าจะมีผลอย่างไรกับเครื่องรับโทรทัศน์

## บทที่ 2

### ลักษณะของสายอากาศ

#### 2.1 กล่าวนำ

จากนิยามความหมายของคำว่าสายอากาศทั่วไป ซึ่งเขียนไว้ในหนังสือ "Mc. Graw Hill Encyclopedia of Science and Technology" มีใจความว่า "the device that couples the transmitter or receiver network for a radio system to space radio waves are used to transmit signals from the source through space" และในหนังสือ "Academic Press Dictionary of Science and Technology" ซึ่งให้คำจำกัดความของสายอากาศว่า "a device that radiates or receiver eletromagnetics radiation frequency or microwave range." และในหนังสือ IEEE standard Definition of Term for Antennas (IEEE std 145-1973) นิยามความหมายของสายอากาศว่า "a mean for radiation or receiving radiation waves" โดยนิยามทั้งสามของสายอากาศจึงมีโครงสร้างที่เชื่อมต่ออยู่ระหว่างอวกาศว่างกับอุปกรณ์นำคลื่นทำหน้าที่ในการรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องส่ง ดังนั้นสายอากาศจึงได้รับการออกแบบให้มีรูปร่างและขนาดที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพไปในทิศทางที่ต้องการ อุปกรณ์นำคลื่นอาจเป็นสายส่งหรือท่อนำคลื่นซึ่งต่างก็ใช้ทำหน้าที่ส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดไปยังอากาศในกรณีเป็นสายอากาศส่ง และจากสายอากาศไปยังเครื่องรับในกรณีเป็นสายอากาศรับ

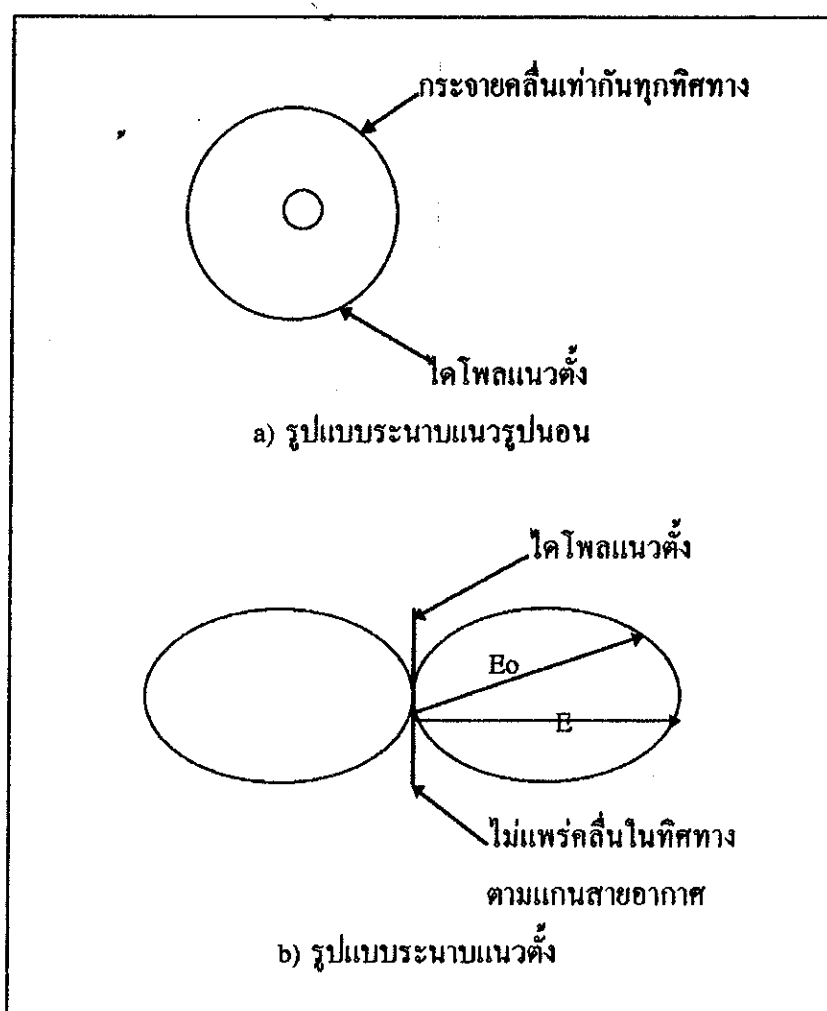
ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงลักษณะของสายอากาศยาคิ สายอากาศทีวีสกกรีน™ และสายอากาศลิปทิส™ ซึ่งผู้สนใจจะศึกษาสามารถอ่านรายละเอียดเกี่ยวกับสายอากาศเหล่านี้ได้ในหัวข้อ 2.2, 2.3 และ 2.4

#### 2.2 สายอากาศยาคิ (Yagi Antenna)

สายอากาศยาคิคือสายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น และพาราซิติคอีลีเมนต์ (parasitic element) พาราซิติคอีลีเมนต์คือ ส่วนของสายอากาศที่ไม่ได้ต่อโดยตรงกับสายนำสัญญาณจากเครื่องรับหรือเครื่องส่ง แต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหรือแรงดันบนตัวสายอากาศได้ และสายอากาศที่นำมาใช้งานร่วมกับพาราซิติค เรียกว่า พาราซิติคอาเรย์ ส่วนคุณสมบัติของไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น ที่มีรูปแบบการแผ่คลื่นในแนวราบของไดโพลที่วางแนวตั้งเป็นวงกลม

เหมือนรูป 2.1 (a) และในระนาบแนวตั้งพบว่าไม่มีการแผ่คลื่นเลย ซึ่งงานสื่อสารวิทยุทั่วไปจะต้องมีประสิทธิภาพของสายอากาศที่มีโคเรคทีฟตี้มากกว่าหนึ่ง

การเพิ่มพลังงานในโคเรคทีฟตี้ทำได้โดยการใช้โคโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น ร่วมกับพาราซีติกอีลีเมนต์ที่เรียกว่ารีเฟลคเตอร์ซึ่งเป็นแท่งตัวนำที่มีขนาดยาวกว่าครึ่งความยาวคลื่นอยู่ประมาณ 5% โดยติดตั้งไว้อีกด้านของสายอากาศในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางที่มีการแผ่คลื่นมากที่สุด ดังรูป 2.2 (a)



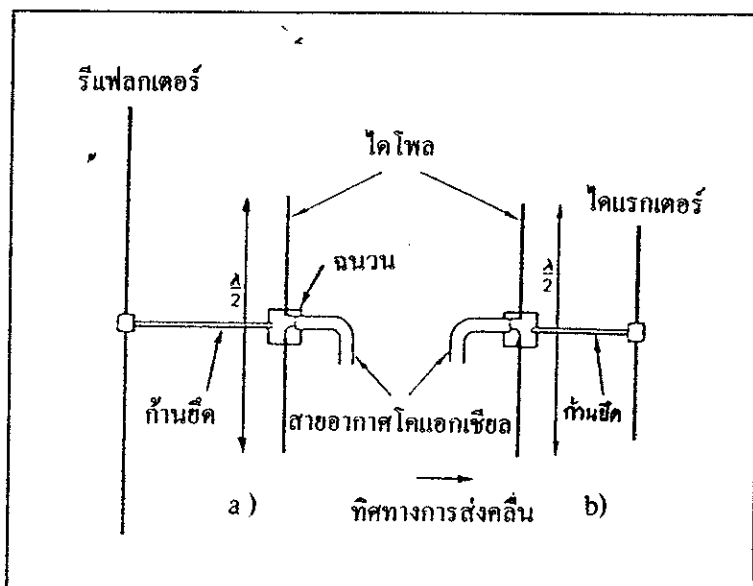
รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบการแผ่คลื่นของสายอากาศโคโพล (ขนาด  $\lambda/2$ )

สายอากาศแบบขากี้เป็นสายอากาศแบบทิศทางเดียว และมีอัตราขยายในตัวสายอากาศขากี้ นี้คิดค้นขึ้นเพื่อนำใช้งานแทนสายอากาศแบบเดิมที่มีข้อจำกัดในการขยาย และมีทิศทางในการรับที่กว้าง

รีเฟลกเตอร์มีผลต่อรูปแบบการแผ่คลื่นของโคโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น เนื่องจากมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกเหนี่ยวนำที่สายอากาศยาก็มีผลต่อรูปแบบการแผ่คลื่นเองได้

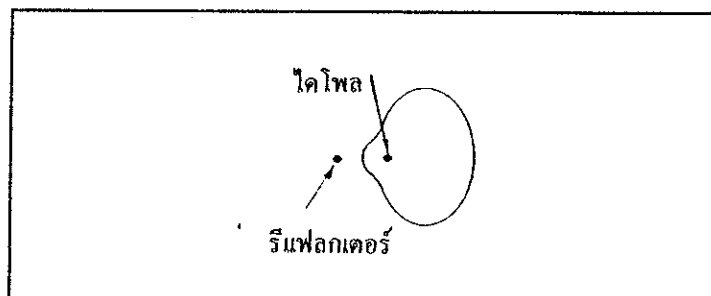
1. ความยาวรีเฟลกเตอร์
2. ระยะห่างจากโคโพล

พิจารณาในรูป 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ

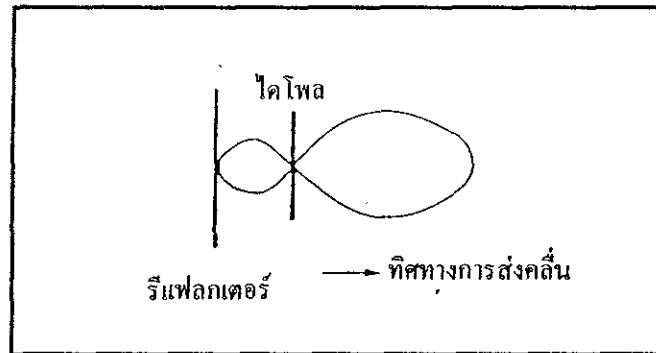


รูปที่ 2.2 แสดงสายอากาศโคโพลแบบครึ่งความยาวคลื่นพร้อมกับ

- a) รีเฟลกเตอร์
- b) ไดเรกเตอร์

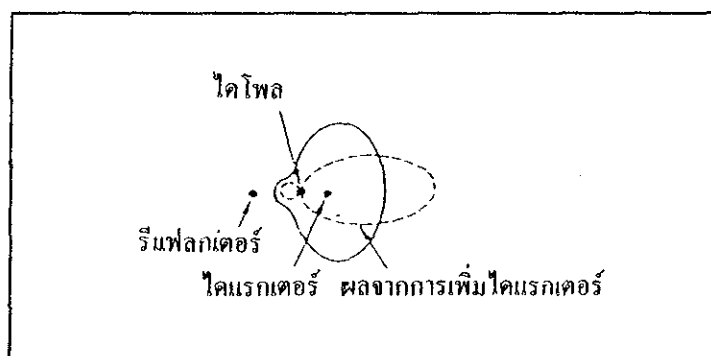


รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบการแผ่คลื่นของโคโพลครึ่งความยาวคลื่นและรีเฟลกเตอร์ในระนาบแนวราบ



**รูปที่ 2.4** แสดงรูปแบบการแผ่คลื่นของ ไดโพลครึ่งความยาวคลื่นและรีฟเลกเตอร์ในระนาบแนวตั้ง

จากรูป 2.3, 2.4 เห็นได้ชัดว่าไดเรกทิวิตีของอาร์เรย์แบบนี้ดีกว่าไดโพลอย่างเดี่ยว เหตุที่รีฟเลกเตอร์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนี้อธิบายได้ว่า เมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้า (ที่ความถี่เรโซแนนซ์) และกระแสให้กับไดโพลจะมีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปทุกทิศทางในแนวตั้งฉากกับไดโพล พลังงานบางส่วนเดินทางมาที่รีฟเลกเตอร์ และเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้น ซึ่งมีเฟสตามหลังแรงดันไฟฟ้าส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่โดยคิดจากระยะห่างของอีลีเมนต์ อย่างเช่น ถ้าระยะห่างเท่ากับ  $0.15\lambda$  ทำให้ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่รีฟเลกเตอร์มีเฟสตามหลังส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่  $180^\circ$  สิ่งนี้มีผลต่อกระแสในทำนองเดียวกัน



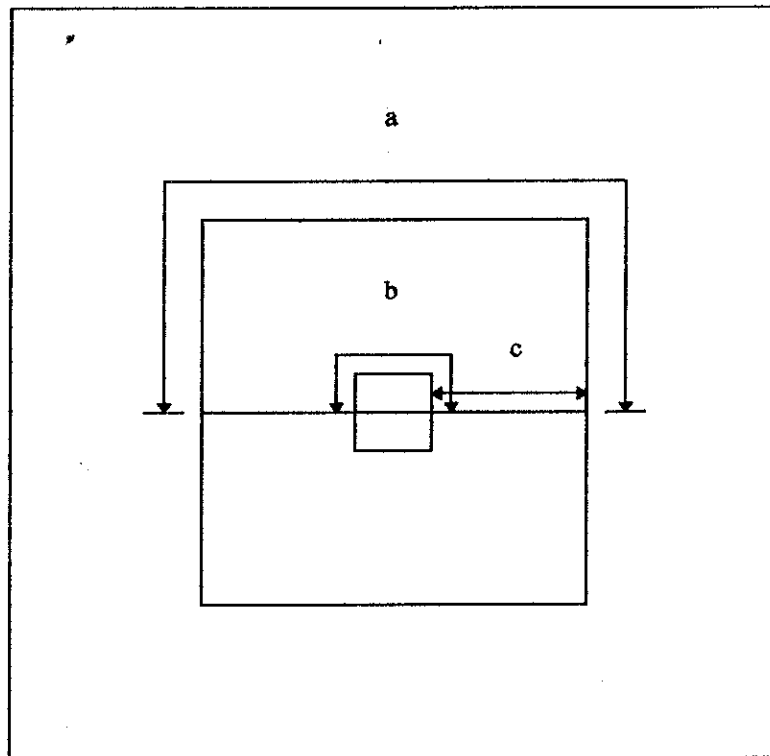
**รูปที่ 2.5** แสดงรูปแบบการแผ่คลื่นของไดโพลครึ่งความยาวคลื่น รีฟเลกเตอร์และไดเรกเตอร์ในระนาบแนวนอน

โครงสร้างของสายอากาศวิทยาก็มีความต้านทาน 73 โอห์ม ซึ่งใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์คุณสมบัติของสายส่ง ค่ารีแอกแตนซ์ต่ำซึ่งทำให้แมทซ์ได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance)

## 2.3 สายอากาศทิวีสกรีน™

สายอากาศทิวีสกรีน™ มีคุณลักษณะที่สามารถนำสายอากาศแบบไดโพลครึ่งความยาวคลื่นสำหรับขนาดต่างกัน 2 ความถี่ขดเป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยนำมาวางอยู่ในระนาบเดียวกัน และมีสายนำสัญญาณ 75 โอห์มเชื่อมระหว่างสายอากาศไดโพลทั้งสองความถี่อยู่ในลักษณะกลับเฟสกัน

ขนาดของส่วนต่างๆ ของสายอากาศทิวีสกรีน™



รูปที่ 2.6 แสดงขนาดของส่วนต่างๆ ของสายอากาศทิวีสกรีน™

$$a = 123.00 \text{ เซนติเมตร}$$

$$b = 35.00 \text{ เซนติเมตร}$$

$$c = 22.00 \text{ เซนติเมตร}$$

สายอากาศทิวีสกรีน™ นี้คือ มีสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น 2 ขนาด 2 ความถี่ โดยไดโพลตัวแรกมีความยาว  $L/2 = 123$  เซนติเมตร,  $L = 246$  เซนติเมตร

$$\text{ความยาวคลื่น} = 2L = 492 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{ความถี่ (f)} = \frac{\text{ความเร็วคลื่น (c)}}{\text{ความยาวคลื่น (\lambda)}} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ของสายอากาศไดโพลที่มี (\lambda = 492 \text{ เซนติเมตร})} &= \frac{3 \times 10^8}{492 \times 10^{-2}} \\ &= 60.97 \text{ MHz} \end{aligned}$$

ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับคลื่นสัญญาณโทรทัศน์อยู่ระหว่างช่อง 2 กับช่อง 6 ของสถานีส่งจังหวัดนครราชสีมา นั่นคือจะใกล้เคียงสถานีช่อง 3 ของสถานีส่งที่ใช้เรียกกันทั่วไป และจะอยู่ระหว่างช่อง 3 กับช่อง 5 ของสถานีส่งกรุงเทพ

โดยไดโพลตัวในมีความยาว  $L/2 = 35$  เซนติเมตร,  $L = 70$  เซนติเมตร

$$\text{ความยาวคลื่น (\lambda)} = 2L = 140 \text{ เซนติเมตร}$$

จากสมการ 2.1

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ของสายอากาศไดโพลที่มี (\lambda = 140 \text{ เซนติเมตร})} &= \frac{3 \times 10^8}{140 \times 10^{-2}} \\ &= 214.28 \text{ MHz} \end{aligned}$$

ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับคลื่นสัญญาณโทรทัศน์อยู่ระหว่างช่อง 10 กับช่อง 12 ของสถานีส่งจังหวัดนครราชสีมา นั่นคือจะใกล้เคียงสถานีช่อง 9 ของสถานีส่งที่ใช้เรียกกันทั่วไป และจะอยู่ระหว่างช่อง 9 กับช่อง 11 ของสถานีส่งกรุงเทพ

นอกจากนี้สายอากาศทีวีสกรีน<sup>TM</sup> ยังมีสายนำสัญญาณต่อเชื่อมระหว่างสายอากาศไดโพลทั้งสองความถี่ซึ่งมีลักษณะกลับเฟสกัน และสายนำสัญญาณที่ต่อออกจากสายอากาศทีวีสกรีน<sup>TM</sup> ก็คือสายนำสัญญาณขนาด 75 โอห์ม

#### 2.4 สายอากาศลูปทิก<sup>TM</sup>

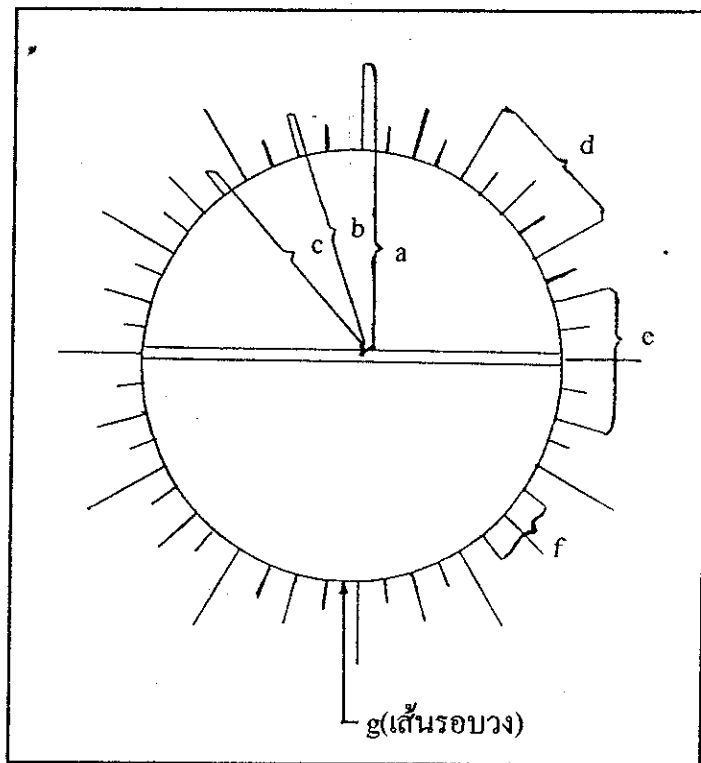
สายอากาศลูปทิก<sup>TM</sup> ประกอบไปด้วยสายอากาศแบบลูปวงกลม และท่อออดูมิเนียมขนาดต่างๆ ที่อยู่รอบตัวสายอากาศ สายอากาศลูปวงกลมมีโครงสร้างพื้นฐานเช่นเดียวกับสายอากาศไดโพล ดังนั้นจึงมีใช้อย่างกว้างขวาง

การวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศลูปวงกลมนี้ จะสามารถทำได้หลายวิธีเช่นเดียวกับสายอากาศไดโพล วิธีที่ง่ายที่สุดคือ วิธี EMF (Electromotive Force Method) ซึ่งวิธี EMF มี



หลักการคิด 2 ประการ คือ ประการแรก คิดว่ากำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ออกจากผิวของสายอากาศทั้งหมดในระบบจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับสายอากาศทั้งหมด และประการที่สอง คือกำลังคลื่นที่ออกจากผิวของสายอากาศจะหาได้จากกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ที่ผิวและสนามไฟฟ้าที่เกิดจากผิว ซึ่งเป็นการสมมติการกระจายกระแสไว้ตั้งแต่แรกจึงทำให้การคำนวณทำได้ง่าย แต่ไม่แม่นยำมากนัก วิธีที่จะใช้ได้ดีขึ้นคือ Moment method, Variation method และ Fourier series expansion method ตามลำดับ

ขนาดของส่วนต่างๆ ของสายอากาศสลิปทิส<sup>TM</sup>



รูปที่ 2.7 แสดงขนาดของส่วนต่างๆ ของสายอากาศสลิปทิส<sup>TM</sup>

a	=	39.50	เซนติเมตร
b	=	34.50	เซนติเมตร
c	=	29.15	เซนติเมตร
d	=	20.00	เซนติเมตร
e	=	18.00	เซนติเมตร
f	=	8.00	เซนติเมตร
g	=	145.00	เซนติเมตร

ความยาวคลื่นแบบรูปวงกลมเท่ากับเส้นรอบวง ซึ่งจะเท่ากับ 145.00 เซนติเมตร หรือ 1.45 เมตร

จากสมการ 2.1

$$\text{ความยาวคลื่นของสายอากาศแบบรูปวงกลม} = 1.45 \quad \text{เมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ความถี่ของสายอากาศแบบรูปวงกลมที่มีรัศมี } g &= \frac{3 \times 10^8}{1.45} \\ &= 206.89 \quad \text{MHz} \end{aligned}$$

ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับคลื่นสัญญาณโทรทัศน์อยู่ระหว่างช่อง 10 กับช่อง 12 ของสถานีส่งจังหวัดนครราชสีมา นั่นคือจะอยู่ระหว่างสถานีส่งช่อง 7 กับช่อง 9 ของสถานีส่งที่ใช้เรียกกันทั่วไป แต่จะอยู่ระหว่างช่อง 9 กับช่อง 11 ของสถานีส่งกรุงเทพ

$$\text{เส้นรอบวง} = 2\pi r \quad (2.2)$$

$$\text{เส้นรอบวงของท่ออลูมิเนียมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง } a = 248.19 \quad \text{เซนติเมตร}$$

$$\text{ความถี่ของท่ออลูมิเนียมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง } a = 120.96 \quad \text{เมกะเฮิร์ต}$$

$$\text{เส้นรอบวงของท่ออลูมิเนียมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง } b = 216.77 \quad \text{เซนติเมตร}$$

$$\text{ความถี่ของท่ออลูมิเนียมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง } b = 138.88 \quad \text{เมกะเฮิร์ต}$$

$$\text{เส้นรอบวงของท่ออลูมิเนียมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง } c = 183.15 \quad \text{เซนติเมตร}$$

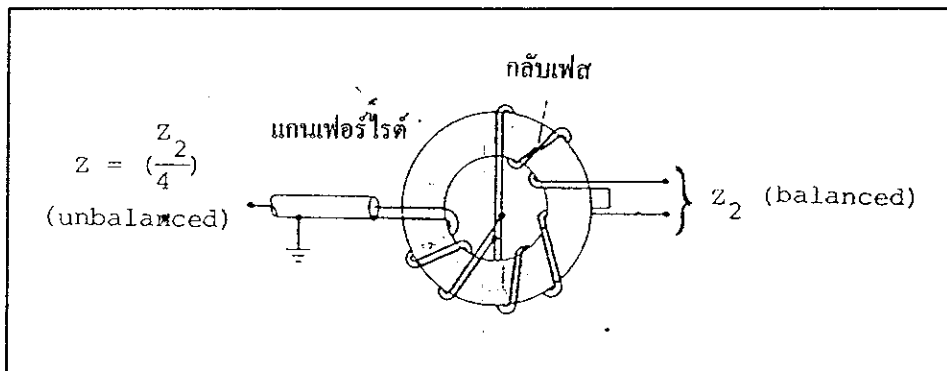
$$\text{ความถี่ของท่ออลูมิเนียมที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง } c = 163.93 \quad \text{เมกะเฮิร์ต}$$

ท่ออลูมิเนียมขนาดต่างๆ ของสายอากาศยี่ห้อสลิปทิกจะมีขนาดอยู่ระหว่าง  $\lambda/16 - \lambda/10$  จะทำให้ทราบว่าท่ออลูมิเนียมขนาดต่าง ๆ ของสายอากาศยี่ห้อสลิปทิกนี้จะอิมพีแดนซ์แฟลกเตอร์เป็นแผ่นจะอยู่ในช่วงความถี่ 120.96 - 163.93 เมกะเฮิร์ต ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับคลื่นสัญญาณโทรทัศน์อยู่ระหว่างช่อง 3 กับช่อง 5 ของสถานีส่งกรุงเทพ

สายอากาศสลิปทิก<sup>TM</sup> นี้ใช้บัลันแบบหม้อแปลง ในการแปลงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้ มีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ของเครื่องรับโทรทัศน์ ซึ่งจากลักษณะบัลันของสายอากาศสลิปทิก<sup>TM</sup> นี้เป็นการใช้แกนเฟอร์ไรต์ในการเพิ่มอิมพีแดนซ์ของโหมคไม้ สมดุล (unbalance = 75 โอห์ม) โดยการพันคอยล์รอบแกนเฟอร์ไรต์ในรูปโทรอยด์ ซึ่งจะมีการแปลงอิมพีแดนซ์จากสายอากาศคือ 350 โอห์ม ไปเป็นอิมพีแดนซ์เพื่อเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ซึ่งมีอิมพีแดนซ์เท่ากับ 75 โอห์ม คือ

การอิมพีแดนซ์ประมาณ 1:4 ซึ่งบาลันในลักษณะนี้จะมีแบนด์วิดท์ค่อนข้างกว้าง และมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในสายอากาศรับของโทรทัศน์ดังรูป 2.8

ลักษณะการพันโทรอยด์นั้นจะพันให้กระแสไหลไม่สมดุล (unbalanced) หักล้างกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือให้อิมพีแดนซ์ของโหลดไม่สมดุลมีค่าสูง ซึ่งทำให้มีแค่กระแสไหลสมดุลผ่านไปยังสายคู่ขนาน



รูปที่ 2.8 แสดงบาลันแบบหม้อแปลงกรณีใช้อิมพีแดนซ์เป็น 1:4

## 2.5 สรุป

ในบทนี้เราได้ทำการศึกษาลักษณะของสายอากาศขาที่เป็นสายอากาศที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เพราะเป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างค่อนข้างง่าย อัตราขยายสูง อินพุทอิมพีแดนซ์ที่ใกล้เคียง 75 โอห์ม และมีค่ารีแอคแตนซ์ต่ำ และในบทนี้ได้กล่าวถึงลักษณะของสายอากาศที่เราสนใจจะศึกษาคุณสมบัติ คือสายอากาศทีวีสกรีน<sup>TM</sup> และสายอากาศลิบติส<sup>TM</sup> โดยสายอากาศทีวีสกรีน<sup>TM</sup> จะมีลักษณะเป็นการนำเอาสายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่นขนาดต่างๆ กัน 2 ความถี่คือเป็นรูปสี่เหลี่ยม โดยวางอยู่ในระนาบเดียวกัน และมีสายนำสัญญาณ 75 โอห์ม เชื่อมระหว่างสายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่นทั้งสองความถี่อยู่ในลักษณะกลับเฟสกัน สำหรับสายอากาศลิบติส<sup>TM</sup> จะเป็นการนำเอาสายอากาศแบบรูปวงกลม โดยมีบาลันแบบหม้อแปลงทำหน้าที่ในการแปลงอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้แมทซ์อิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ โดยเราจะทำการศึกษาคูสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ ซึ่งจะแสดงในบทที่ 3

## บทที่ 3

### พารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ

#### 3.1 กล่าวนำ

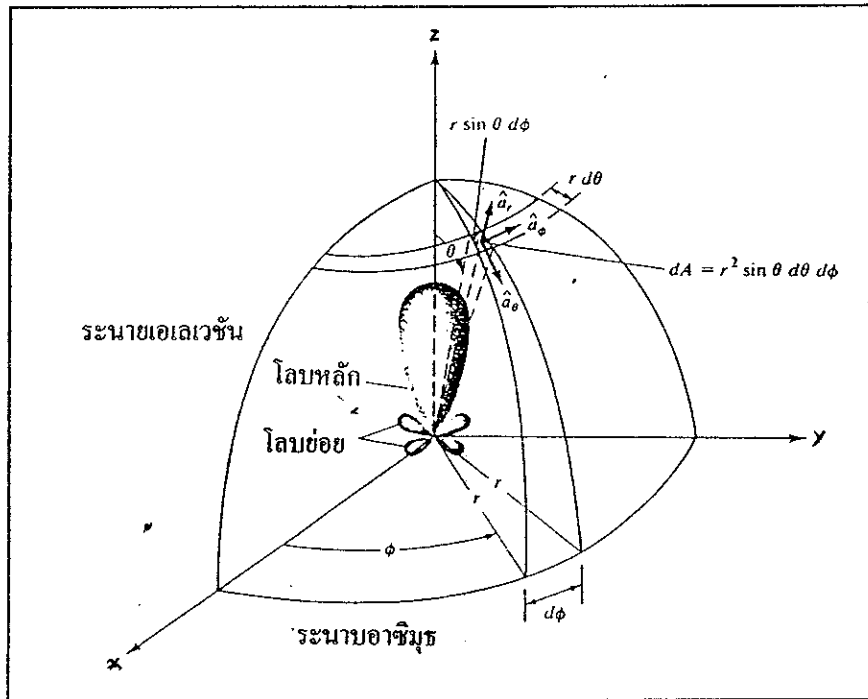
ในการที่จะศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ เพื่อจะนำไปใช้งานในการรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ในสถานการณ์จริงนั้น เราจะต้องทราบเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในทฤษฎีสายอากาศ ตลอดจนความหมายของพารามิเตอร์เหล่านั้น ดังนั้นในหัวข้อ 3.2-3.9 จะแนะนำความหมายของพารามิเตอร์ต่างๆ โดยย่อพอเข้าใจ เพื่อที่จะเป็นพื้นฐานสำหรับการศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศต่อไป

#### 3.2 กระบวนการแผ่คลื่น

กระบวนการแผ่คลื่น (Radiation Pattern) คือรูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติในการแผ่คลื่น ซึ่งเป็นฟังก์ชันของสเปซโคออดิเนท (Space Coordinate) ส่วนใหญ่ กระบวนการแผ่คลื่นมักจะคิดในบริเวณที่เป็นสนามระยะไกล (Far Field)

การอธิบายคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ ความเข้มของการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือโพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้ในการแจกแจงรูปของพลังงานเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่สังเกตที่มีรัศมีคงที่

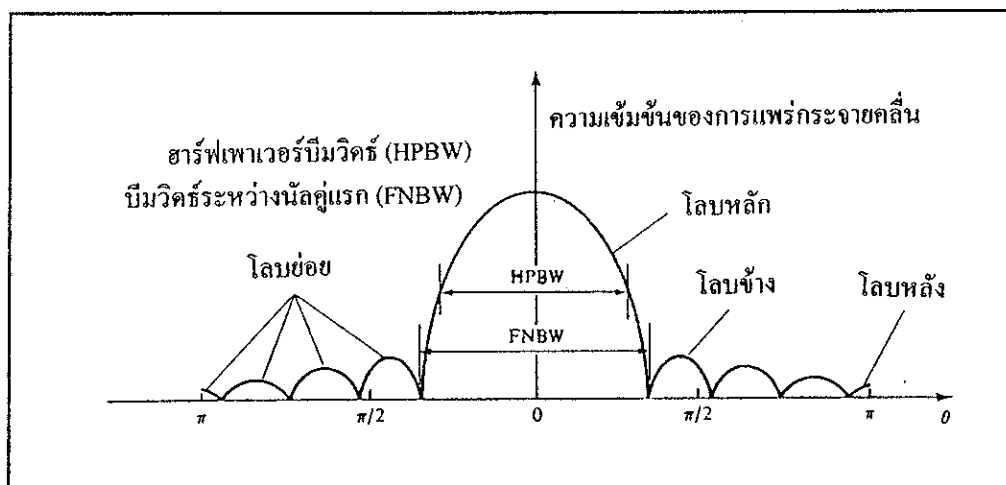
จากรูป 3.1 แสดงระบบโคออดิเนทที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแพร่กระจายคลื่น สำหรับการใช้เส้น เพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่มีชื่อเรียกว่า แพทเทิร์นกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศ และกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่างๆ ที่มีรัศมีคงที่มีชื่อเรียกว่า แพทเทิร์นสนาม (Field Pattern) ของสายอากาศ



รูปที่ 3.1 แสดงระบบโคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

### 3.3 ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์

ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิดท์ (Half-Power Beamwidth : HPBW) เป็นมุมที่วัดความเข้มของการแผ่กระจายคลื่นในโบลหลัก มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดสองจุด ดังแสดงในรูป 3.2 เพื่อความสะดวกจะใช้คำย่อ HPBW แทน



รูปที่ 3.2 แสดงแพทเทิร์นในแบบลิเนียร์

### 3.4 ความหนาแน่นของกำลังที่แพร่กระจาย

เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ในการส่งข่าวสารผ่านตัวกลางถูกกำหนดให้มีความสัมพันธ์กับกำลังงานไฟฟ้า โดยใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวได้แก่ พอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น (Intensity Poynting Vector) ซึ่งมีสมการแสดงความสัมพันธ์ ดังนี้คือ

$$\vec{W} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (3.1)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \vec{W} &= \text{พอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้น} && (\text{W/m}^2) \\ \vec{E} &= \text{ความเข้มสนามไฟฟ้าชั่วเวลานั้น} && (\text{V/m}) \\ \vec{H} &= \text{ความเข้มสนามแม่เหล็กชั่วขณะเวลานั้น} && (\text{A/m}) \end{aligned}$$

เนื่องจากพอยดิงเวกเตอร์มีความหมายแสดงถึงความหนาแน่นของกำลังงาน ดังนั้นกำลังงานทั้งหมดที่พุ่งตัดผ่านพื้นผิวปิดจะสามารถหาได้โดยอินทิเกรตส่วนของพอยดิงเวกเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวทั้งหมด ซึ่งเมื่อเขียนสมการจะได้

$$\vec{P} = \oint_S \vec{W} \cdot d\vec{s} = \oint_S \vec{W} \cdot \vec{n} da \quad (3.2)$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} \vec{P} &= \text{กำลังทั้งหมดซึ่งขณะใช้งาน} && (\text{W}) \\ da &= \text{พื้นที่จำนวนพื้นที่ปิด} && (\text{m}^2) \end{aligned}$$

ในกรณีของที่แปรผันกับเวลา มักจะหาค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของกำลังงานได้ โดยการอินทิเกรตค่าพอยดิงเวกเตอร์ชั่วขณะเวลานั้นตลอด 1 คาบ แล้วหารด้วยคาบเวลานั้น สำหรับสนามที่แปรผันกับเวลา ซึ่งกระจายเป็นฮาร์โมนิก ในรูป  $e^{j\omega t}$  เมื่อกำหนดสนาม  $\vec{E}$  และ  $\vec{H}$  เป็นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเชิงซ้อน แล้วจะหาความสัมพันธ์กับค่า  $\vec{E}$  และ  $\vec{H}$  ชั่วขณะเวลาใดๆ ได้จาก

$$\vec{E}(x, y, z) = \text{Re} [\overline{\vec{E}}(x, y, z) e^{j\omega t}] \quad (3.3)$$

$$\vec{H}(x, y, z) = \text{Re} [\overline{\vec{H}}(x, y, z) e^{j\omega t}] \quad (3.4)$$

จาก (3.3) (3.4) และโดยอาศัย  $\text{Re} [\overline{E} e^{j\omega t}] = 1/2 [\overline{E} e^{j\omega t} + \overline{E}^* e^{-j\omega t}]$   
 (3.1) จะเขียนได้ใหม่เป็น

$$\vec{W} = \vec{E} \times \vec{H} = 1/2 \text{Re} [\overline{E} \times \overline{H}^*] + 1/2 [\overline{E} \times \overline{H} e^{j2\omega t}] \quad (3.5)$$

เทอมแรกของ (3.5) ไม่เป็นฟังก์ชันของเวลา และเทอมที่สองมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เป็นสองเท่าของความถี่ที่กำหนดให้ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของพอยคิงเวกเตอร์จึงสามารถที่จะหาได้เป็น

$$\overline{W}_{av}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}) = [\langle \mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}; t \rangle]_{av} = 1/2 \text{Re} [\overline{E} \times \overline{H}^*] \quad (\text{W/m}^2) \quad (3.6)$$

ตัวประกอบ 1/2 ใน (3.5) และ (3.6) เกิดขึ้น เพราะสนาม  $\overline{E}$  และ  $\overline{H}$  เป็นค่าสูงสุด ไม่ใช่ค่า rms จาก (3.6) กำลังงานเฉลี่ยที่แพร่กระจายจากสายอากาศ จะเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{Prad} &= \text{Pav} = \iint_s \overline{W}_{rad} \, d\mathbf{s} \\ &= \iint_s \overline{W}_{av} \, d\mathbf{s} \\ &= \iint_s \text{Re} (\overline{E} \times \overline{H}^*) \, d\mathbf{s} \quad (3.7) \end{aligned}$$

### 3.5 ประสิทธิภาพของสายอากาศ

ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ จะใช้เมื่อเรากำลังถึงการสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นที่ขั้ว และภายในโครงสร้างของสายอากาศด้วย การสูญเสียต่างๆ อาจเนื่องมาจาก

1. การสะท้อนกลับเนื่องจากความไม่สมพจน์ (Mismatch) กันระหว่างสายส่ง (Transmission Line) กับสายอากาศ

2. การสูญเสียทั้งในตัวนำและฉนวน

โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพทั้งหมด คำนวณได้จาก

$$e_t = e_r e_o e_d \quad (3.8)$$

- เมื่อ  $e_t$  = ประสิทธิภาพทั้งหมด (ไม่มีหน่วย)  
 $e_r$  = ประสิทธิภาพเกี่ยวกับการสะท้อนกลับ =  $(1 - |\Gamma|^2)$  (ไม่มีหน่วย)  
 $e_o$  = ประสิทธิภาพของตัวนำ (ไม่มีหน่วย)  
 $e_d$  = ประสิทธิภาพของฉนวน (ไม่มีหน่วย)  
= สัมประสิทธิ์การสะท้อนของศักดาไฟฟ้าที่ขั้วของสายอากาศ

$[\Gamma = (Z_{in} - Z_o) / (Z_{in} + Z_o)$  เมื่อ  $Z_{in}$  = อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ  
 $Z_o$  = อิมพีแดนซ์ (Characteristic Impedance) ของสายส่ง]

ปกติ  $e_o$  และ  $e_d$  คำนวณหาได้ยากลำบาก ส่วนมากมักหาได้จากการทดลอง แต่ถึงกระนั้นก็แยก  $e_o$  จาก  $e_d$  ไม่ออก ดังนั้นเพื่อความสะดวกมักจะเขียน (3.8) ใหม่เป็น

$$e_t = e_r, e_{od} = e_{od} (1 - |\Gamma|^2) \quad (3.9)$$

เมื่อ  $e_{od} = e_o e_d$  = ประสิทธิภาพของการกระจายคลื่นของสายอากาศ

### 3.6 อินพุทอิมพีแดนซ์

อินพุทอิมพีแดนซ์ (Input Impedance) ของสายอากาศใด ๆ จะอิมพีแดนซ์ที่ขั้วของสายอากาศนั้น ๆ อาจจะเป็นอัตราของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสที่ขั้วของปลายสายอากาศนั้น หรือเป็นอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าต่อสนามแม่เหล็กที่จุดใด ๆ ในรูป 3.3 (a) a-b เป็นขั้วของสายอากาศ อัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าต่อกระแสไฟฟ้าที่ขั้วนี้ เมื่อไม่ได้ต่อโหลด (Load) จะเป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศซึ่งมีค่า

$$Z_A = R_A + j X_A \quad (3.10)$$

- เมื่อ  $Z_A$  = อิมพีแดนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)  
 $R_A$  = ความต้านทานที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)  
 $X_A$  = รีแอกแตนซ์ที่ขั้ว a-b ของสายอากาศ (โอห์ม)

โดยทั่วไปค่าความต้านทานใน (3.10) จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้คือ



$$R_A = R_r + R_L \quad (3.11)$$

เมื่อ  $R_r$  = ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

$R_L$  = ความต้านทานการสูญเสียของสายอากาศ

ถ้าสมมุติว่า สายอากาศถูกต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ภายในเป็นดังนี้

$$Z_g = R_g + jX \quad (3.12)$$

เมื่อ  $R_g$  = ความต้านทานของกำเนิดสัญญาณ (โอห์ม)

$X_g$  = รีแอกแตนซ์ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ (โอห์ม)

และสายอากาศทำหน้าที่เป็นสายอากาศส่ง จะแสดงวงจรสมมูลย์ได้ดังรูป 3.3 b ในการปริมาณกำลังงานที่ถูกนำมาสู่ความต้านทานการแผ่คลื่นเพื่อแพร่กระจายออก กับกำลังงานที่สูญเสียในความต้านทานสูญเสีย  $R_L$  ที่กลายเป็นความร้อน ( $I^2 R_L / 2$ ) นั้น เราจะหากระแสไหลภายในลูป (Loop) ได้ว่ามีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{V_g}{Z_t} = \frac{V_g}{Z_A + Z_g} \\ &= \frac{V_g}{(R_r + R_L + R_g) + j(X_A + X_g)} \end{aligned} \quad (A) \quad (3.13)$$

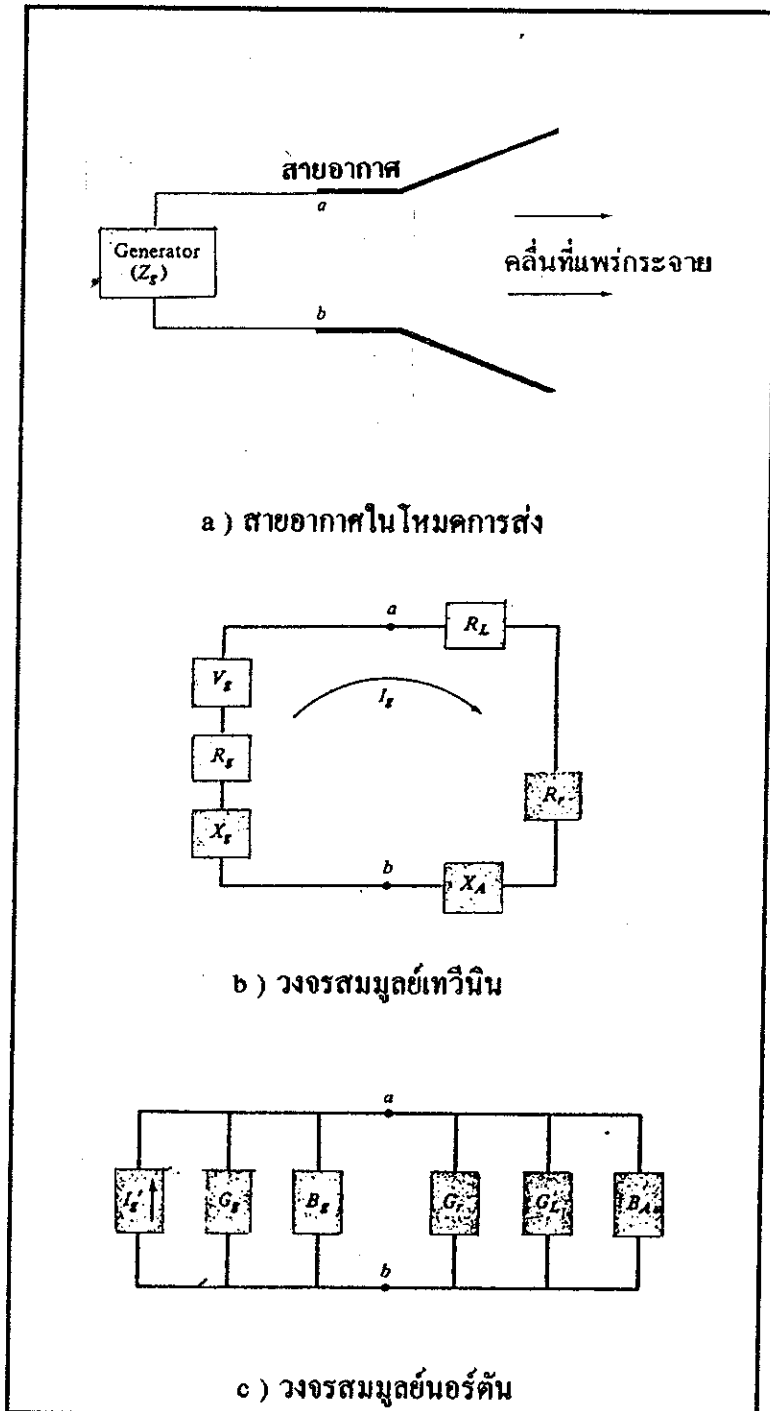
และขนาดของกระแสจะมีค่าดังนี้คือ

$$|I_g| = \frac{|V_g|}{[(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2]^{1/2}} \quad (3.13 a)$$

เมื่อ  $V_g$  เป็นศักดาไฟฟ้าค่าสูงสุดของเครื่องกำเนิดสัญญาณ กำลังที่ถูกนำมายังสายอากาศเพื่อการแผ่คลื่น จะมีค่าดังนี้คือ

$$P_r = 1/2 |I_g|^2 R_r$$

$$P_r = \frac{|V_g|^2}{2} \left[ \frac{R_r}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_g)^2} \right] \text{ (W)} \quad (3.14)$$



รูปที่ 3.3 แสดงสายอากาศส่งและวงจรสมมูลย์ (โหมดการส่ง)

และกำลังงานที่สูญเสียกลายเป็นความร้อน จะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}
 P_L &= 1/2 |I_g|^2 R_L \\
 &= \frac{|V_g|^2}{2} \left[ \frac{R_L}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_B)^2} \right] \text{ (W) } \quad (3.15)
 \end{aligned}$$

กำลังส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนที่สูญเสียเป็นความร้อนในความต้านทานที่ขั้ว  $R_g$  ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ ซึ่งมีค่า

$$P_g = \frac{|V_g|^2}{2} \left[ \frac{R_g}{(R_r + R_L + R_g)^2 + (X_A + X_B)^2} \right] \text{ (W) } \quad (3.16)$$

กำลังงานที่ถูกนำมายังสายอากาศจะมีค่ามากที่สุด เมื่อคอนจูเกตแมทซ์ (Conjugate Match) นั้นคือจะเกิดเมื่อ

$$R_r + R_L = R_g \quad (3.17)$$

$$X_A = -X_B \quad (3.18)$$

ในกรณีนี้ (3.14) (3.15) และ (3.16) จะกลายเป็นดังต่อไปนี้

$$P_r = \frac{|V_g|^2}{2} \frac{R_r}{4(R_r + R_L)^2} = \frac{|V_g|^2}{8} \frac{R_r}{(R_r + R_L)^2} \quad (3.19)$$

$$P_L = \frac{|V_g|^2}{8} \frac{R_L}{(R_r + R_L)^2} \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned}
 P_g &= \frac{|V_g|^2 [R_g]}{8 (R_r + R_L)^2} \\
 &= \frac{|V_g|^2 [1]}{8 (R_r + R_L)} = \frac{|V_g|^2}{8 R_g} \quad (3.21)
 \end{aligned}$$

จาก (3.19) ถึง (3.20) พบว่า

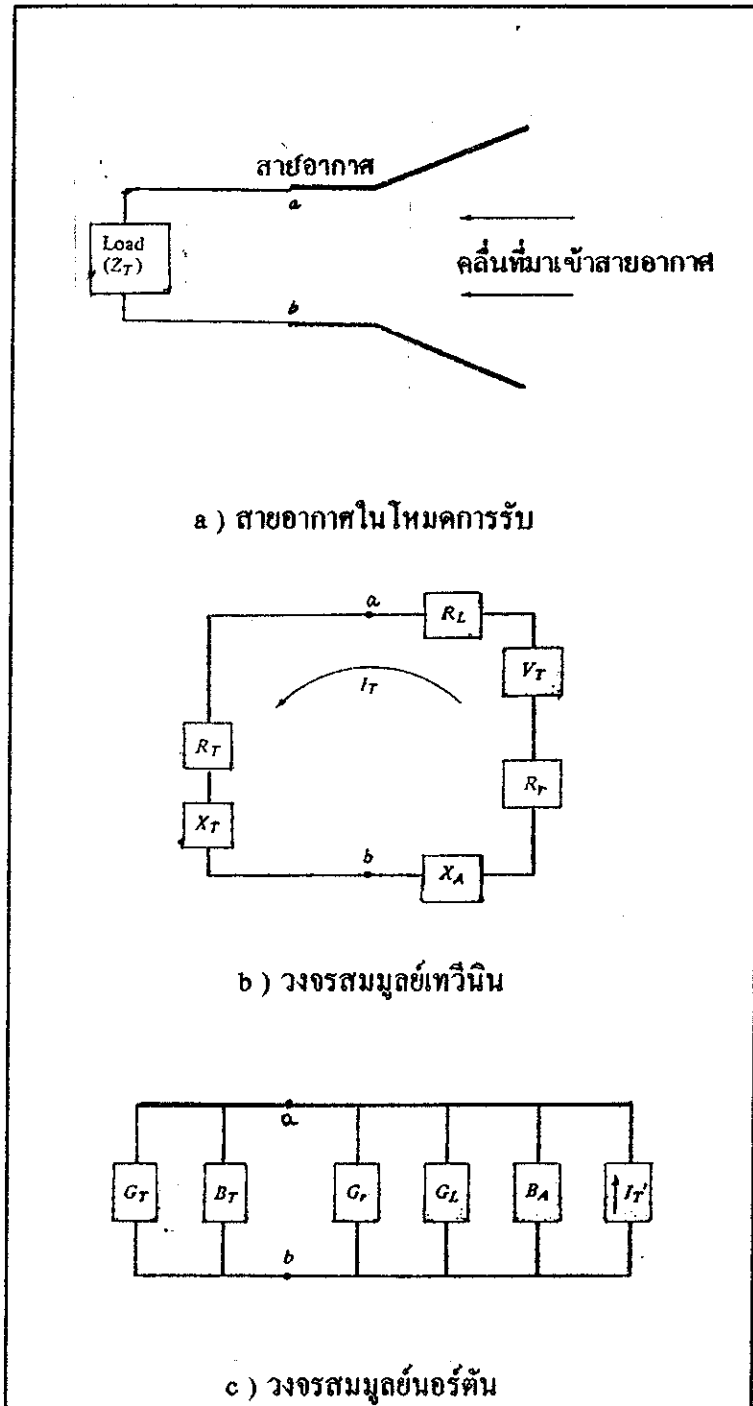
$$\begin{aligned}
 P_g &= P_r + P_L = \frac{|V_g|^2 [R_g]}{8 (R_r + R_L)^2} \\
 &= \frac{|V_g|^2 [R_r + R_L]}{8 (R_r + R_L)^2} \quad (3.22)
 \end{aligned}$$

ดังนั้นกำลังที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจะต้องจ่ายเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทซ์ จะมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}
 P_r &= 1/2 V_g I_g^* = 1/2 V_g \left[ \frac{V_g^*}{2 (R_r + R_L)} \right] \\
 &= \frac{|V_g|^2 [1]}{4 (R_r + R_L)} \quad (W) \quad (3.23)
 \end{aligned}$$

ในจำนวนเครื่องกำเนิดสัญญาณจ่ายทั้งหมด ครึ่งหนึ่งจะสูญเสียเป็นความร้อนภายในความต้านทานภายใน ( $R_g$ ) ของเครื่องกำเนิดสัญญาณ และอีกครึ่งหนึ่งจะถูกนำมาข้างสายอากาศซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทซ์เท่านั้น ในส่วนของกำลังงานที่นำมาข้างสายอากาศส่วนหนึ่งจะแพร่กระจายออกไป โดยผ่านกลไกที่เกิดจากความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น อีกส่วนหนึ่งจะสูญเสียเป็นความร้อน ซึ่งมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ ถ้าสายอากาศไม่มีการสูญเสีย ( $e_{ad} = 1$ ) ครึ่งหนึ่งของกำลังที่เครื่องกำเนิดสัญญาณจ่าย จะแพร่กระจายออกเมื่อเป็นคอนจูเกตแมทซ์ ในตอนนี้สมมติว่าเป็นการแมทซ์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายอากาศกับสายส่ง ( $e_r = 1$ ) ถ้ามีการสูญเสียหรือไม่แมทซ์แล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง ในรูป 3.3 a แสดง

วงจรสมมูลย์นอร์ตันต้นของสายอากาศกับต้นกำเนิดสัญญาณเมื่อสายอากาศเป็นสายอากาศส่ง สำหรับการใส่สายอากาศเป็นสายอากาศรับ ดังแสดงในรูป 3.4 a ถ้ามีคลื่นตกกระทบเข้ามายังสายอากาศ จะเหนี่ยวนำให้เกิดศักดาไฟฟ้า  $V_T$  ซึ่งเปรียบเทียบกับ  $V_s$  ในโหมคของการส่ง ได้แสดงวงจรสมมูลย์นอร์ตันต้นมีแสดงในรูป 3.4 c



รูปที่ 3.4 แสดงสายอากาศรับและวงจรสมมูลย์ (โหมคการรับ)

ปกติอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะเป็นฟังก์ชันของความถี่ และจะสมพจน์กับสายส่ง เฉพาะในช่วงความถี่หนึ่ง ๆ เท่านั้นนอกจากอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศยังขึ้นอยู่กับแฟล็กเตอร์ต่างๆ อีก ได้แก่ รูปทรง วิธีการป้อนสัญญาณ และสิ่งแวดล้อมข้างเคียง เนื่องจากคำนวณได้ยากจึงมักจะพบว่า ส่วนใหญ่จะหาค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ได้จากการทดลอง

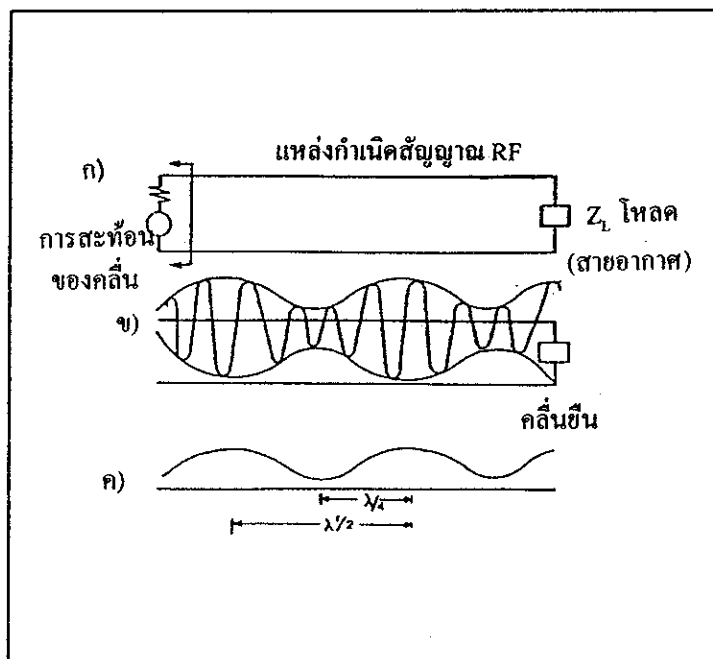
### 3.7 แบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์ของสายอากาศถูกกำหนดอยู่ในช่วงของความถี่ ที่สายอากาศมีคุณสมบัติอยู่ในมาตรฐานที่กำหนดให้ อาจคิดว่าเป็นช่วงของความถี่ที่สายอากาศมีคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์ กระบวนการแผ่คลื่น โพลาริเซชัน ระดับของไซเคิลออบ อัตราขยาย ประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่น ฯลฯ อยู่ในค่าที่ใช้งานได้ คือไม่แตกต่างจากคุณสมบัติที่วัดที่ความถี่ตรงกลางที่ออกแบบ จนทำให้คุณสมบัติเหล่านี้เสียไปจากข้อกำหนด หรือมาตรฐานสำหรับสายอากาศแบนด์กว้างมักจะคิดเป็นอัตราส่วนของความถี่ที่ใช้งานได้ ด้านสูงต่อความถี่ที่ใช้งานได้ด้านต่ำ ยกตัวอย่างเช่น แบนด์วิดท์ 10 : 1 แสดงว่าความถี่ที่ใช้งานได้ด้านสูง มีค่ามากกว่าความถี่ที่ใช้ได้ในด้านต่ำอยู่ 10 เท่า สำหรับสายอากาศแบนด์แคบ แบนด์วิดท์จะเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแตกต่างของความถี่ (ความถี่ด้านสูงลบความถี่ด้านต่ำ)หารด้วยความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น เช่น แบนด์วิดท์ 5% แสดงว่าผลต่างของความถี่ของช่วงการทำงานของสายอากาศ เป็น 5% ของความถี่กลางของแบนด์วิดท์นั้น

เนื่องจากคุณสมบัติต่างๆ ของสายอากาศ (ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์ กระบวนการแผ่คลื่น อัตราขยาย โพลาริเซชัน ฯลฯ) ไม่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ในลักษณะเดียวกันทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดแบนด์วิดท์ตามคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งแต่เพียงอย่างเดียวได้ จึงต้องมีการกำหนดข้อบังคับให้เป็นไปตามการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่างไป ปกติแล้วคุณสมบัติของแพทเทิร์นกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์ จึงมักถูกใช้เป็นตัวกำหนดแบนด์วิดท์ของสายอากาศ นอกจากนี้ แบนด์วิดท์ของเกน ระดับของไซเคิลออบ บีมวิดท์ โพลาริเซชัน จึงมีแบนด์วิดท์ค่าเดียวกับแพทเทิร์นแบนด์วิดท์ ในขณะที่แบนด์วิดท์ของอินพุทอิมพีแดนซ์ และประสิทธิภาพของการแผ่กระจายคลื่น จะเป็นค่าเดียวกับอิมพีแดนซ์แบนด์วิดท์

### 3.8 อัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดของโวลเตจในคลื่นยืน

Voltage standing wave ratio (VSWR) คือ อัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดของโวลเตจในคลื่นยืน (standing wave) ในสายนำสัญญาณ คลื่นยืนนั้นเกิดขึ้นในลักษณะที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 คือ ถ้าอิมพีแดนซ์ของโหลด (กรณีนี้เป็นสายอากาศ) ที่ปลายสายไม่เท่ากับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณ ก็จะทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่น RF กลับจากโหลดคลื่นสะท้อน ( $V_r$ ) จะรวมกับคลื่นขาเข้า ( $V_i$ ) ได้เป็นคลื่นในลักษณะที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 ข) คลื่นยืนคือ เส้นโค้งที่เชื่อมระหว่างจุดสูงสุดของลูกคลื่น ในสภาพเช่นนี้ถ้าทำการวัดค่าโวลเตจของสัญญาณ RF ในสายนำสัญญาณ ก็จะได้ค่าเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งรูปเดียวกับคลื่นยืนและจะมีตำแหน่งที่มีค่าสูงสุด  $V_{max}$  และตำแหน่งที่มีค่าต่ำสุด  $V_{min}$  ซึ่งอยู่ห่างกัน  $\lambda/4$  โดยที่  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่นในสายนำสัญญาณ ค่าอัตราส่วนระหว่าง  $V_{max}$  กับ  $V_{min}$  นี้เรียกว่า VSWR VSWR จะมีค่าสูงขึ้นถ้าโหลดและสายนำสัญญาณมีค่าอิมพีแดนซ์แตกต่างกันมากขึ้น และหมายถึงจะมีการสะท้อนของกำลังคลื่นมากขึ้น



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นยืน

การหาค่า VSWR และอัตราส่วนการสะท้อนของกำลังคลื่น จะทำได้ง่าย ๆ ดังต่อไปนี้ ก่อนอื่นสมมติให้  $Z_L$  และ  $Z_0$  เป็นอิมพีแดนซ์ของโหลด และสายนำสัญญาณตามลำดับ จะเกิดการสะท้อนกลับของคลื่นเป็นอัตราส่วนดังนี้คือ

$$\text{อัตราสสะท้อนกลับของคลื่น} = \Gamma = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \quad (3.24)$$

ค่า  $Z_1$  นั้น โดยทั่วไปจะมีทั้งค่ารีซิสแตนซ์ และค่ารีแอกแตนซ์ คือตัวเลขเชิงซ้อน (complex number) ในขณะที่  $Z_0$  เป็นค่ารีซิสแตนซ์อย่างเดียว จึงทำให้เป็นตัวเลขเชิงซ้อนด้วย อย่างไรก็ตามถ้าคำนึงถึงเฉพาะขนาด ของคลื่นสะท้อนก็จะสามารถหาค่าขนาดของคลื่นสะท้อน  $V_r$  ในรูปของคลื่นขาเข้า  $V_i$  ได้ดังนี้

$$V_r = |\Gamma| V_i = \left| \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \right| V_i \quad (3.25)$$

คลื่นสะท้อนนี้ในตำแหน่งเฉพาะบางแห่งจะบวกเข้าเต็มที่ หรือลบออกเต็มที่จากคลื่นขาเข้า ผลคือทำให้เกิดตำแหน่งที่มีค่าโวลเตจสูงสุด  $V_{\max}$  และค่าโวลเตจต่ำสุด  $V_{\min}$  สลับกันไป บนสายนำสัญญาณ และเนื่องจาก

$$V_{\max} = V_i + V_r = (1 + |\Gamma|) V_i \quad (3.26)$$

$$V_{\min} = V_i - V_r = (1 - |\Gamma|) V_i \quad (3.27)$$

ดังนั้น VSWR จึงเขียนได้ดังนี้คือ

$$\text{VSWR} = S = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3.28)$$

จากสมการ 3.24 จะเห็นได้ว่าถ้า  $Z_1$  แตกต่างกับ  $Z_0$  มากขึ้นเท่าไรก็จะทำให้ค่า  $|\Gamma|$  สูงขึ้นเท่านั้นและจะส่งผลทำให้ค่า VSWR ในสมการ 3.28 มีค่าสูงขึ้น ในกรณีพิเศษที่  $Z_1 = Z_0$  ค่า  $\Gamma$  จะเป็น 0 คือไม่มีการสะท้อนกลับเกิดขึ้น จากสมการ 3.28 จะได้ค่า VSWR = 1.0 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุดที่จะเป็นไปได้ นั่นคือค่า VSWR ที่เท่ากับ 1.0 จะแสดงให้เห็นว่าโหลดกับสายนำสัญญาณแมตช์กันอย่างสมบูรณ์ คือไม่มีการสะท้อนกลับของคลื่นเกิดขึ้น แต่ในกรณีทั่วไป VSWR จะมีค่าสูงกว่า 1.0



### 3.9 อัตราขยายของสายอากาศ

อัตราขยายของสายอากาศ (Power Gain) เป็นค่าที่แสดงความสามารถในการรับคลื่นของสายอากาศว่าจะรับได้แรงมากน้อยเพียงใด โดยเปรียบเทียบกำลังของคลื่นที่รับได้ระหว่างสายอากาศนั้นๆ กับสายอากาศมาตรฐาน สายอากาศที่ใช้เป็นสายอากาศมาตรฐานนั้นในย่านความถี่ VHF มักจะนิยมใช้สายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น (Half-wave dipole) ซึ่งเป็นสายอากาศที่รู้จักกันดี ดังนั้นถ้าหาสายอากาศที่ต้องรู้ค่าอัตราขยายและสายอากาศไดโพลครึ่งความคลื่น รับคลื่นที่ตำแหน่งเดียวกัน ได้กำลังของคลื่นที่เข้าของสายอากาศเป็น  $W$  และ  $W_0$  ตามลำดับก็แสดงว่าสายอากาศนั้นมีอัตราขยาย เป็นดังนี้คือ

$$\begin{aligned} Gr &= \frac{\text{กำลังของคลื่นที่สายอากาศรับได้}}{\text{กำลังคลื่นที่สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นรับได้}} \\ &= \frac{W}{W_0} \quad \text{เท่า} \end{aligned} \quad (3.29)$$

$$\text{หรือ} \quad Gr = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad \text{dB} \quad (3.30)$$

ในกรณีที่วัดเป็นกำลังของคลื่นที่รับได้ในรูปของโวลเตจ ก็จะสามารถคำนวณหาค่าอัตราขยายได้ ในทำนองเดียวกับวงจรขยายธรรมดา คือถ้าโวลเตจที่เข้าของสายอากาศที่ต้องการรู้ค่าอัตราขยายและสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นเป็น  $V$  และ  $V_0$  ตามลำดับ ก็จะได้อัตราขยาย (G) เป็นดังนี้

$$Gr = 20 \log \frac{V}{V_0} \quad \text{dB} \quad (3.31)$$

ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นค่าอัตราขยายโดยเปรียบเทียบกับสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น (relative gain, Gr) ในบางกรณีอาจจะมีการแสดงค่าอัตราขยาย โดยเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุด (isotropic point source) ซึ่งกระจายคลื่นออกไปทุกทิศทางเหมือนกันหมด อัตรา

การขยายเหล่านี้เรียกว่า อัตราขยายสัมบูรณ์ (absolute gain) ในกรณีเช่นนี้ค่าอัตราขยายของสายอากาศจะสูงขึ้นอีก 2.15 dB เพราะสายอากาศโคโพลครึ่งความยาวคลื่น เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุดจะมีอัตราขยาย 2.15 dB นั่นคือ

$$G_a = G_r + 2.15 \text{ dB} \quad (3.32)$$

อนึ่งโดยทั่วไปช่วงคลื่นที่ต่ำกว่า VHF ลงมา ถ้าไม่ได้ระบุว่าเป็นอัตราขยายแบบไหน จะหมายถึงอัตราขยายเมื่อเปรียบเทียบกับสายอากาศโคโพลครึ่งความยาวคลื่น

### 3.10 สรุป

ในบทที่ 3 นี้ได้อธิบายทบทวนความหมายของพารามิเตอร์พื้นฐานที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติของสายอากาศ ซึ่งได้แก่ กระบวนการแผ่คลื่น, ฮาร์ฟเพาเวอร์บีมวิคท์, ความหนาแน่นของสายอากาศ, ประสิทธิภาพของสายอากาศ, อินพุทอิมพีแดนซ์, แบนวิคท์, อัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดของโวลเตจในคลื่นขึ้น และอัตราขยายของสายอากาศ ซึ่งพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ จะมีส่วนช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้สายอากาศที่มีข้อกำหนดแตกต่างกันให้เหมาะสมกับการใช้งานในโอกาสต่อไป สำหรับการศึกษาวัดคุณสมบัติของสายอากาศ ในรายงานฉบับนี้ได้กล่าวถึงการศึกษาวัดอัตราขยาย, อิมพีแดนซ์ และกระบวนการแผ่คลื่นของสายอากาศ ซึ่งในบทที่ 5 จะกล่าวถึงการออกแบบวิธีการวัดคุณสมบัติเหล่านี้ต่อไป

## บทที่ 4

### วิธีแมทช์ในสายอากาศ

#### 4.1 กล่าวนำ

เงื่อนไขอย่างหนึ่งที่พิจารณาการใช้งานของสายนำสัญญาณ คือย่านความถี่ของอากาศในขณะที่ใช้งานอยู่จึงทำให้ผู้สร้างอาจมีตัวเลือกในการทำสายอากาศอยู่ 2 ชนิด คือ

1. ระบบสายอากาศที่ใช้ร่วมกับสายนำสัญญาณซึ่งมี SWR ต่ำ แต่จะใช้ได้ในความถี่หนึ่งค่า หรือมากกว่านี้เล็กน้อย (ย่านความถี่แคบ)
2. ระบบสายอากาศที่ใช้ร่วมกับสายนำสัญญาณ ซึ่งมีค่า SWR สูง และใช้ได้หลายย่านความถี่ (ย่านความถี่กว้าง)

ในทางปฏิบัติวิธีต่อ (แมทช์) ระหว่างสายนำสัญญาณกับสายอากาศ พอแบ่งได้ 2 ขั้นตอนคือ

-ขั้นตอนที่หนึ่ง พิจารณาในย่านความถี่หลายย่านเป็นอันดับแรก และพิจารณาค่า SWR ที่เกิดขึ้นเป็นอันดับรอง ซึ่งปกติ SWR จะค่อนข้างสูง และอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณขึ้นอยู่กับความยาวสายและความถี่ใช้งาน

-ขั้นตอนที่สองอาจมีความจำเป็นปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้เท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายเพื่อให้ แมทช์กันมีผลทำให้ค่า SWR ต่ำลง และอินพุทอิมพีแดนซ์เป็นความต้านทานอย่างเคียว

โดยทั่วไปเราพิจารณาสายนำสัญญาณที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสเป็นเส้นตรง (flat) โดยดูจากค่า SWR อยู่ในช่วง 1.5-1

#### การสูญเสีย (LOSSES)

เหตุสำคัญในการแมทช์ อิมพีแดนซ์ เพื่อให้ได้ระดับของคลื่นในสายเป็นเส้นตรง เพราะจะมีค่าการสูญเสียต่ำที่สุด

โดยทั่วไปเรามักจะลดค่าการสูญเสียลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น และค่า SWR จะมีผลเกี่ยวข้องอย่างมาก แต่ข้อความข้างต้นเป็นจริงบางส่วนเท่านั้น ถ้านามาพิจารณาความถี่ย่านต่ำซึ่งมีการสูญเสียน้อย ถึงแม้ความยาวของสายจะเพิ่มก็ยังคงจก้าน้อยอยู่

ถ้าความถี่สูงขึ้น การแมทช์ระหว่างสายนำสัญญาณกับสายอากาศเป็นเรื่องสำคัญมาก

### ขีดจำกัดของกำลังคลื่น

เหตุการณ์หนึ่งที่ต้องมีการเมทซ์ คือ สายนำสัญญาณแต่ละชนิดจะมีขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอยู่ ดังนั้นการเลือกกระดัดกำลังคลื่นที่นำมาใช้กับสายจึงเป็นเรื่องสำคัญ ไม่เช่นนั้นอาจเกิดความเสียหายกับสายได้

มีหลักการว่าขนาดกำลังไฟฟ้าที่สายนำสัญญาณใช้งานได้จะเป็นสัดส่วนกลับกันกับค่า SWR อย่างเช่น สายแบบ 300 โอห์ม (ทวินลีด) ใช้กำลังไฟฟ้าได้ 500 วัตต์ ถ้าถูกเมทซ์อย่างดี (SWR = 1:1) แต่จะมีค่าเหลือ 50 วัตต์ ถ้าค่า SWR เพิ่มขึ้นเป็น 10:1

นอกจากจะต้องป้อนกระแสตามโหมคที่สายอากาศนั้นต้องการแล้ว ยังต้องทำการเมทซ์ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับสายนำสัญญาณ เพราะถ้าไม่เป็นเช่นนั้นแล้วจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของกำลัง ซึ่งจะทำให้อัตราขยายที่ได้จากสายอากาศลดลงกว่าที่จะเป็น การเมทซ์ อิมพีแดนซ์นั้นจะทำได้โดยวิธีดังหัวข้อ 4.1-4.5

## 4.2 การเมทซ์สายนำสัญญาณ

การใช้สายนำสัญญาณที่มีค่า SWR ต่ำ ต้องใช้โหลดที่เมทซ์กับอิมพีแดนซ์ประจำสายให้ใกล้เคียงมากที่สุด

ปัญหาข้อนี้มีการแก้ไข 2 วิธี ดังนี้

4.1.1 วิธีที่ 1 เลือกสายนำสัญญาณที่ อิมพีแดนซ์ประจำสาย เมทซ์กับความต้านทานของสายอากาศที่จุดต่อ

4.1.2 วิธีที่ 2 ปรับค่าความต้านทานสายอากาศ ให้เมทซ์ กับ  $Z_0$  ของสายนำสัญญาณที่เลือก ใช้วิธีแรกจกง่ายและไม่ยุ่งยากที่จะต่อ โดยตรงเลย แต่ข้อจำกัดของสายนี้มีสูงมาก เพราะอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณและสายอากาศที่มีค่าเท่ากันหาได้น้อยชนิดมาก สำหรับวิธีที่ให้อิสระในการประยุกต์ใช้งานสูง ข้อเสียประการเดียวคือ ยุ่งยากในการสร้าง

### พิจารณาการทำงาน

จากที่ได้กล่าวมาก่อนแล้วว่าระบบสายอากาศส่วนมีการเปลี่ยนค่าความต้านทานอย่างชัดเจน เมื่อความถี่เพิ่มจากค่าพื้นฐานเป็นจำนวนเท่าของค่านี้

ด้วยเหตุนี้การเมทซ์อิมพีแดนซ์สายนำสัญญาณจึงมักทำได้ในเฉพาะย่านความถี่เดียวเท่านั้น โดยส่วนใหญ่ระบบสายอากาศที่จะใช้ในกิจการหนึ่งแถบความถี่ ถึงแม้ว่าในบางกรณีอาจเกินไปจากแถบความถี่ที่กำหนดก็จะไม่มากนัก

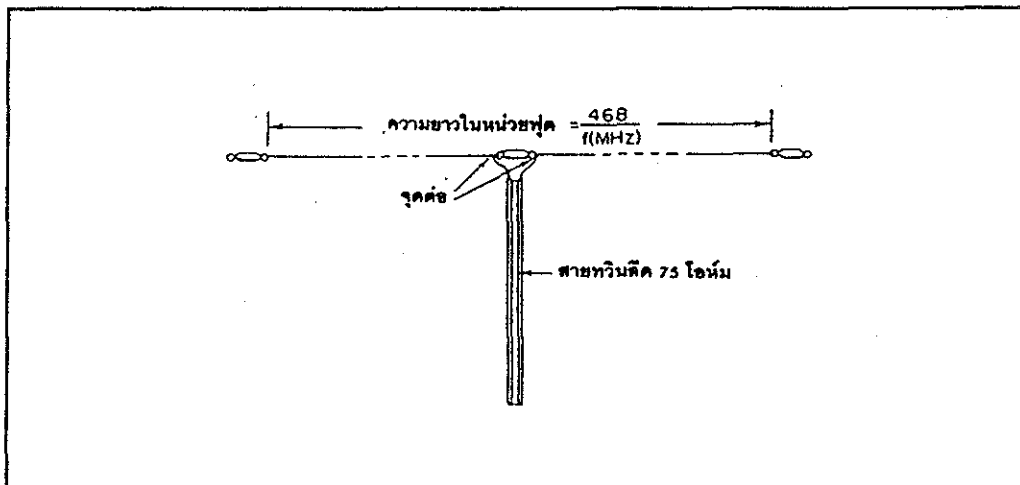
แถบความถี่นี้พอจะพิจารณาได้จากช่วงที่มีค่า SWR ต่ำ หรือดูจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ โดยค่าอิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อค่าความถี่เปลี่ยนไปมีผลให้ค่า SWR และแถบความถี่กว้าง

#### การเรโซแนนซ์สายอากาศ

จุดที่ควรให้ความสนใจในการแมทช์สายอากาศกับสายนำสัญญาณคือ อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อ ต้องเป็นความต้านทานอย่างเดียวกันเท่านั้น หมายความว่าระบบสายอากาศจะเรโซแนนซ์ที่ความถี่ในกรณีสายแมทช์แล้ว

#### 4.8 การแมทช์โดยตรง

จากที่อิมพีแดนซ์ที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศเรโซแนนซ์ขนาดครึ่งความยาวคลื่น ที่ความสูง  $\lambda/4$  หรือ มากกว่านี้ (จำนวนเท่า) มีค่าเป็นความต้านทานอย่างเดียวกันและมีค่าประมาณ 70 โอห์ม เราสามารถนำสายนำสัญญาณ (ส่ง) แบบทวินลิตที่มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายเท่ากับ 75 โอห์ม สามารถใช้งานได้ ถึงแม้จะเกิดค่า SWR ขนาดต่ำก็ตามดังแสดงในรูป 4.1



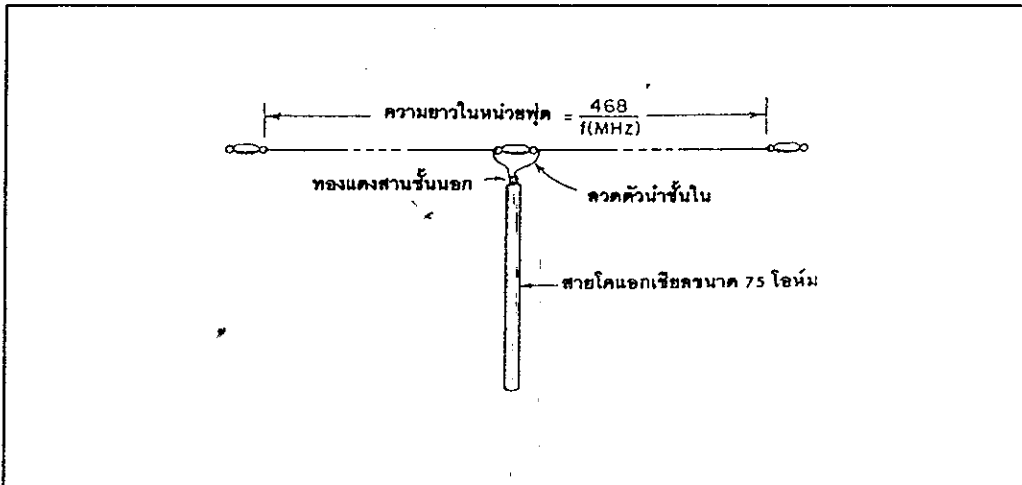
รูปที่ 4.1 แสดงการต่อโคโพลแบบครึ่งความยาวคลื่นกับสายทวินลิต 75 โอห์ม

วิธีต่อในรูป 4.1 ใช้งานได้ดีเมื่อความถี่ใช้งานเป็นจำนวนเลขคี่ของความถี่พื้นฐานอย่างเช่น สายอากาศจะมีความถี่เรโซแนนซ์ที่ 7 เมกะเฮิร์ต สามารถทำงานในความถี่ 21 เมกะเฮิร์ต โดยเกิดค่า SWR ต่ำได้ดี (3 เท่าจากความถี่พื้นฐาน)

แต่กรณีเป็นจำนวนเท่าเลขคู่ของความถี่พื้นฐาน จะให้ผลการทำงานไม่ดีเลย

กรณีใช้สายอากาศโคแอกเซียล

แทนที่จะใช้สายทวินลีดเหมือนกรณีก่อน เราสามารถใช้สายโคแอกเซียลแบบ 75 โอห์ม (เช่น ชนิด RG-11) ต่อแทนได้เหมือนในรูป 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการต่อสายอากาศแบบครึ่งความยาวคลื่นกับสายโคแอกเซียลขนาด 75 โอห์ม

บางครั้งอาจใช้สายโคแอกเซียลที่มีอิมพีแดนซ์ขนาดประมาณ 52 โอห์ม เช่น ชนิด (RG-8) เมื่อความสูงของสายอากาศต่ำกว่า  $\lambda/4$  เพราะจะมีผลลดค่าความต้านทานการแผ่คลื่นของสายอากาศลง

สำหรับหลักการเกี่ยวข้องกับ SWR เหมือนกับทวินลีด แต่ส่วนที่แตกต่างกันทั้งสองกรณี คือ สายทวินลีดเป็นสายที่ความสมดุลทางไฟฟ้าอยู่ ส่วนสายโคแอกเซียลไม่มีความสมดุลทางไฟฟ้า กล่าวอย่างละเอียดคือ ในกรณีต่อสายโคแอกเซียลด้านนอกของตัวนำชั้นนอกไม่ได้ต่อสายอากาศผิกับตัวนำชั้นใน และด้านในของตัวนำชั้นนอกที่ต่อโดยตรงอยู่มีผลลัพธ์กระแสนบางส่วนไหลบนด้านนอกนี้ เป็นการสูญเสียอย่างหนึ่ง ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นนำสัญญาณมีขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของสายอากาศ และใช้ย่านความถี่วิทยุสมัครเล่นช่วงความถี่ต่ำแล้ว ผลจากความไม่สมดุลทางไฟฟ้านี้สามารถละทิ้งไม่คิดได้ เพราะมีขนาดเล็กมาก แต่ในย่านความถี่ VHF และ UHF จะมีผลอย่างมาก

#### 4.4 บาลัน (Balun)

บาลัน คือ หม้อแปลงที่ใช้ในการแมทซ์ คือ แมทซ์ระบบ 300 โอห์ม เข้ากับระบบ 75 โอห์ม หรือเป็นการเปลี่ยนจากเป็นไม่สมดุล บาลันจัดเป็นอุปกรณ์ราคาถูก และมีผู้ผลิตจำนวนมากในธุรกิจโทรทัศน์

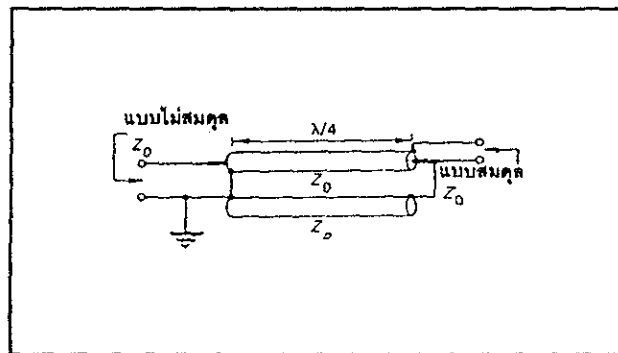
การประยุกต์ใช้งานของบาลันที่เห็นทั่วไปคือ

-แมทซ์สายอากาศ 300 โอห์ม เข้ากับสายโคแอกเซียล และ

-แมทซ์สายโคแอกเซียลเข้ากับอินพุทขนาด 300 โอห์ม ของเครื่องรับโทรทัศน์

ในย่านความถี่สูง วิธีต่อโดยตรงระหว่างสายที่มีความสมดุล (ทางไฟฟ้า) กับสายที่ไม่มีความสมดุลมีผลมาให้อุณหภูมิเสียดพลังงานมีการแพร่ออกมาหรือเกิดจากการแทรกของสัญญาณรบกวนภายนอก ได้บาลันเป็นตัวเชื่อมต่อสายสมดุลกับแบบไม่สมดุล โดยไม่มีผลกระทบใด ๆ

สำหรับย่านความถี่คลื่นวิทยุ ถ้ามีใช้กำลังไฟฟ้าจนถึง 5 KW หรือความถี่จนถึง 30 เมกะเฮิร์ต จะใช้บาลันได้ พิจารณารูป 4.3

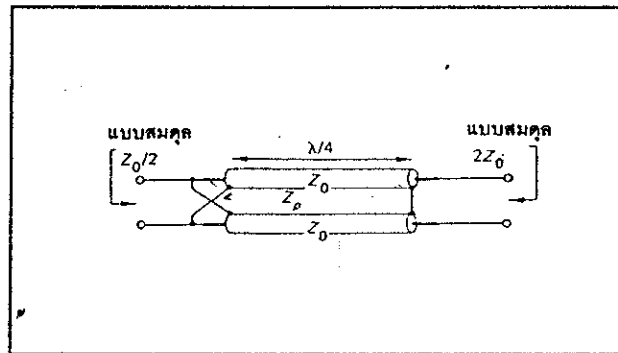


รูปที่ 4.3 แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 1 : 1

จากรูป 4.3 ปลายบาลันที่ไม่สมดุล ตัวนำชั้นนอกของสายโคแอกเซียลต่อตรงกับความนำแท่งกลม (ตัวล่าง) ซึ่งตัวนำล่างนี้มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวนำเท่ากับ  $Z_p$  ทั้งสองมีความยาวขนาด  $\lambda/4$  ดังนั้น ถ้าพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ ที่มองเข้ามาทางขวามือของบาลันมีค่าเท่ากับ  $Z_p^2 / \phi$  หรือเป็นวงจรเปิดนั่นเอง

ส่วนปลายบาลันด้านสมดุล ตัวนำเส้นหนึ่งต่อกับชั้นนอกของโคแอกเซียล และอีกเส้นต่อกับชั้นในของโคแอกเซียลรวมถึงตัวนำแท่งกลมด้วย (ไม่มีการต่อกราวด์ในค่านี)

โดยทั่วไป สายแบบไม่สมดุลมีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายในช่วง 50-75 โอห์ม ในขณะที่แบบสมดุล (ทวินลีด) มีค่าเป็นหลายร้อยโอห์ม จึงมีความจำเป็นที่ต้องปรับขนาดอิมพีแดนซ์ของสายให้เข้ากันได้



รูปที่ 4.4 แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 4 : 1

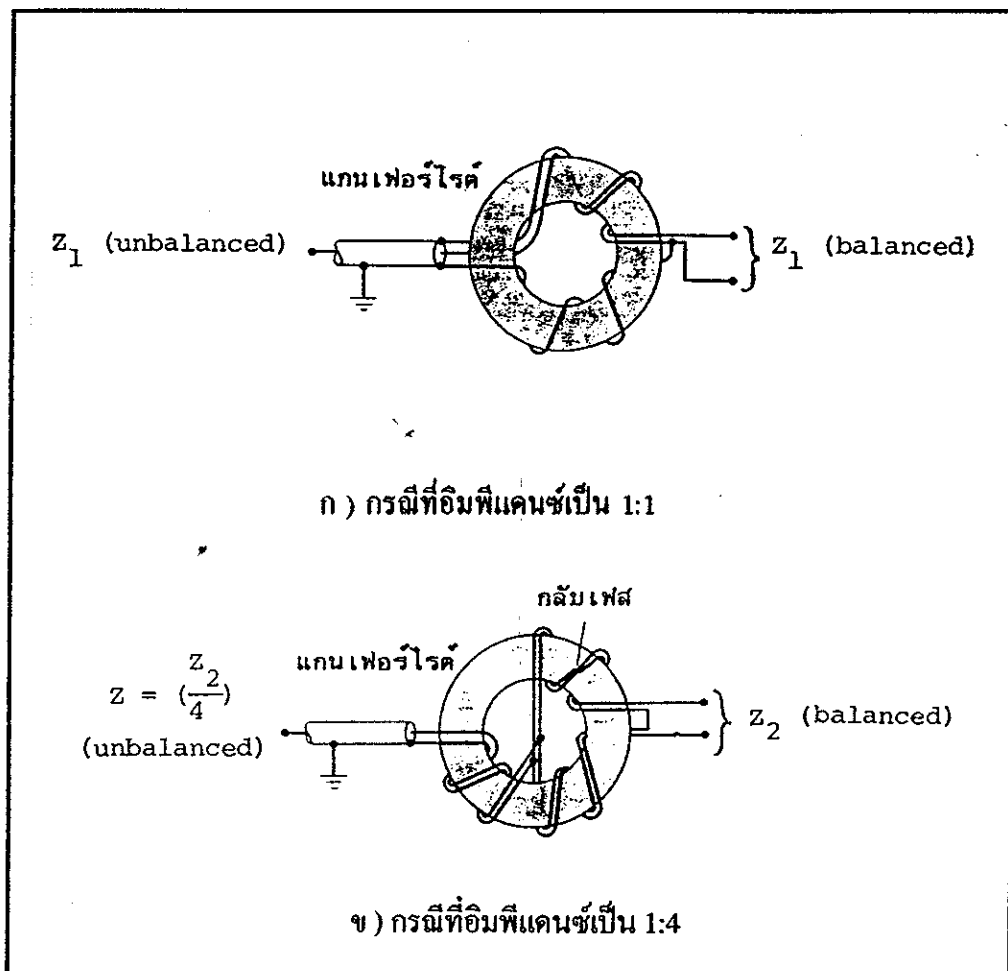
จากรูปเราใช้สายโคแอกเชียล 2 เส้น โดยด้านซ้ายมือมีการต่อตัวนำกับด้านนอกของสายโคแอกเชียลในลักษณะขนานกัน โดยด้านขวามือมีการต่อตัวนำกับด้านนอกของสายโคแอกเชียลในลักษณะอนุกรมกัน ถ้าค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายแต่ละเส้นมีค่าเท่ากันคือ  $Z_0$  โอห์ม จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่คร่อมจุดต่อด้านซ้ายมือเท่ากับ  $2Z_0$  โอห์ม และค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดต่อด้านซ้าย  $Z_0/2$  โอห์ม ตัวอย่างเช่น ค่าอิมพีแดนซ์ ขนาด 300 โอห์ม สามารถปรับให้เหลือ 75 โอห์ม

#### 4.4.1 บาลันแบบหม้อแปลง

บาลันแบบนี้จะเป็นการใช้แกนเฟอร์ไรต์ในการเพิ่มอิมพีแดนซ์ของโหลดไม่สมดุลโดยการพันคอยล์รอบแกนเฟอร์ไรต์ในรูปโทรอยด์คังแดงในรูป 4.5 ในรูป ก ) เป็นการพันคอยล์แบบที่มีอัตราการแปลงอิมพีแดนซ์เป็น 1 : 1 ส่วนในรูป ข ) จะมีอัตราการแปลงอิมพีแดนซ์เป็น 1 : 4 บาลันแบบนี้ ข ) นี้ จะมีแบนด์วิดท์ค่อนข้างกว้าง และมีที่ใช้อยู่กว้างขวางในสายอากาศรับของโทรทัศน์

ลักษณะการพันโทรอยด์นั้นจะพันให้กระแสโหลดไม่สมดุลหักล้างกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือให้อิมพีแดนซ์ของโหลดไม่สมดุลมีค่าสูง ซึ่งจะให้มีแต่กระแสโหลดสมดุลที่ส่งผ่านไปยังสายคู่ขนาน

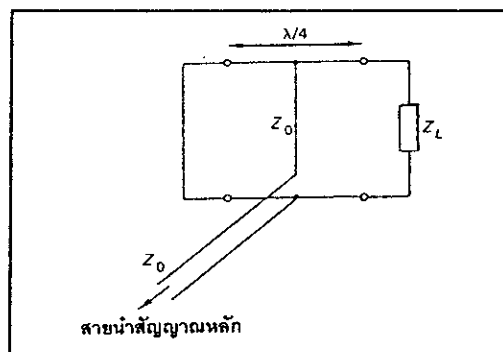




รูปที่ 4.5 แสดงบาลันแบบหม้อแปลง

4.5 การแมทซ์โดยใช้สตับ

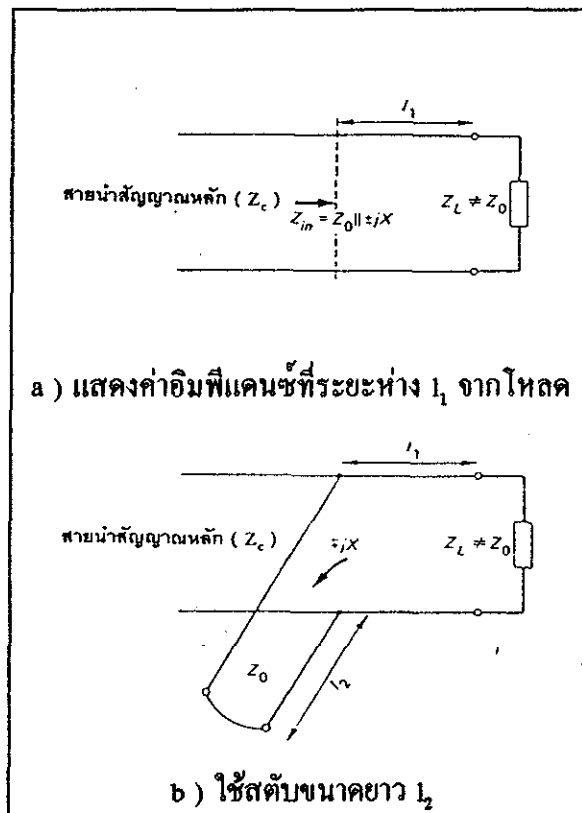
มีการแมทซ์สายอีกวิธี เรียกว่า สตับ (Stub) ลองพิจารณาจากรูป 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงวิธีสตับบนสายยาว  $\lambda/4$

พิจารณาสายอากาศขนาด  $\lambda/4$  พบว่าปลายด้านซ้ายลัดวงจรอยู่ และปลายด้านขวามือต่อกับ โหลดขนาด  $Z_L$  ค่าอิมพีแดนซ์บนสาย  $\lambda/4$  จะเปลี่ยนตามระยะห่างจากโหลด ซึ่งมีค่าตั้งแต่  $Z_L$  ถึง ศูนย์ และ  $\infty$  จุดหนึ่งจะมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำสายของสายนำสัญญาณหลัก ถ้ามีการต่อสาย นำสัญญาณเข้าที่  $\infty$  จุดนี้ ถือว่ามีการแผ่รังสีเกิดขึ้น พอมองเห็นได้ว่า สายสตับ (Stub line) คือ ความยาวของสายด้านที่ลัดวงจร และค่าความยาวนี้มีผลต่ออินพุทรีแอกแตนซ์ด้วย โดยถ้าความยาว ทางไฟฟ้าของสตับน้อยกว่าขนาด  $\lambda/4$  ทำให้อินพุทรีแอกแตนซ์เป็นค่าความเหนี่ยวนำ (inductive) หรือความยาวทางไฟฟ้าของสตับมากกว่าขนาดของ  $\lambda/4$  ทำให้ค่าอินพุทรีแอกแตนซ์เป็นค่าประจุ ไฟฟ้า (capacitive)

ค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ไม่แมทช์กัน จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างจากโหลด บางกรณีค่าอิมพีแดนซ์อาจมากกว่าค่า  $Z_0$  ของสายอากาศหรือน้อยกว่าก็เป็นไปได้สมมติให้ ที่ระยะ  $l_1$  จากโหลด ( $Z_L$ ) ค่าอิมพีแดนซ์  $\infty$  จุดนั้นมีผลรวมระหว่างอิมพีแดนซ์ประจำสาย  $Z_0$  ขนานกับบาง ส่วนของรีแอกแตนซ์ ( $\pm jx$ ) ดังแสดงในรูป 4.7 a)



a) แสดงค่าอิมพีแดนซ์ที่ระยะห่าง  $l_1$  จากโหลด

b) ใช้สตับขนาดยาว  $l_2$

รูปที่ 4.7 แสดงแมทช์โดยวิธีสตับ

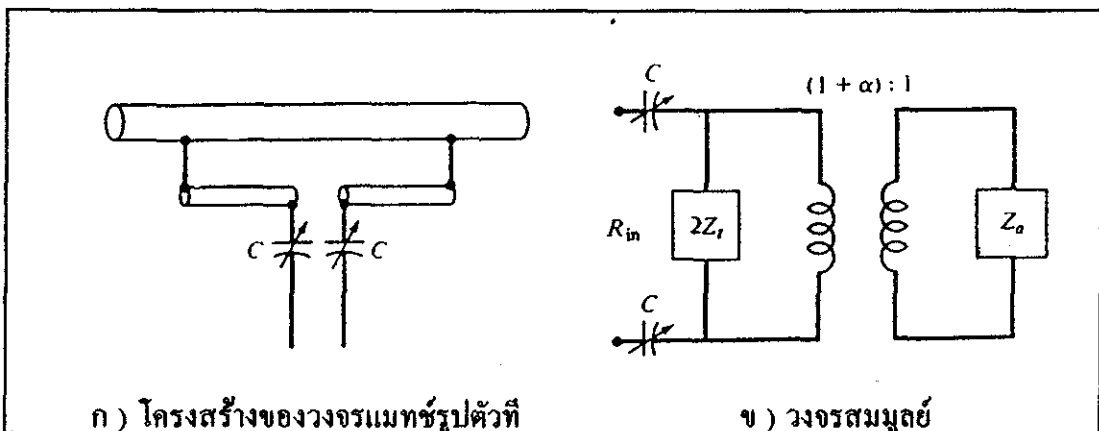
จากรูปที่ 4.7 บ) มีการต่อสลับคร่อม ณ จุด 1, โดยความยาวของสลับเท่ากับ  $L_2$  ซึ่งมีค่าอินพุทรีแอกแตนซ์ขนาดเท่ากัน แต่เครื่องหมายตรงกันข้าม ( $\pm jx$ ) ซึ่งจะเกิดการหักล้างเครื่องหมายรีแอกแตนซ์ทั้งสองหมดเป็นศูนย์ เหลือเฉพาะค่า  $Z_0$  เท่านั้น จึงจะเกิดการแมทช์ขึ้น

4.6 การแมทช์อิมพีแดนซ์โดยใช้วงจรลัมปพร้อมทั้งวงจรกระจาย

ในการแมทช์อิมพีแดนซ์ของสายบางอย่างเช่นสายอากาศโคโพลและสายอากาศยาگیโคโพล เป็นต้น เพื่อความกระชับและความคล่องตัวในเวลาใช้งาน จะใช้วิธี แมทช์ อิมพีแดนซ์โดยใช้วงจรกระจาย ข้างล่างนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างของการแมทช์วิธีนี้ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

4.6.1 วงจรแมทช์อิมพีแดนซ์รูปตัวที (T-match)

วงจรแมทช์อิมพีแดนซ์รูปตัวที จะมีส่วนประกอบดังที่แสดงไว้ในรูป 3.12 กล่าวคือใช้ท่อนโลหะคู่หนึ่งยาวด้านละ  $l/2$  มาวางขนานกับสายอากาศโคโพลตรงตำแหน่งนั้น การป้อนเพาเวอร์จะเป็นการป้อนจากสายบาลันเข้าทางท่อนโลหะคู่ดังกล่าวนี้ การวิเคราะห์การทำงานของวงจรกระจายส่วนนี้จะทำได้เช่นเดียวกับเรื่องสายอากาศโคโพลแบบห้วง ในกรณีทั่วไปแท่งโลหะที่นำมาต่อเพิ่มเติมจะมีรัศมีเล็กกว่าสายอากาศโคโพลคือ  $a' < a$  และความยาวก็สั้นกว่าคือ  $l' < l$  ในสภาพเช่นนี้การไหลของกระแสในโหมคไม่สมดุล ซึ่งเป็นโหมคที่จะกระจายคลื่นออกไปจะแตกต่างไปจากกรณีที่  $a' = a$  กล่าวคือขนาดของกระแสโหมคไม่สมดุลที่ไหลในท่อโลหะที่มีขนาดไม่เท่ากันจะมีขนาดไม่เท่ากันด้วย ถ้าให้กระแสโหมคไม่สมดุลที่ไหลในสายอากาศกับในท่อนโลหะแมตซ์มีอัตราส่วน 1 ต่อ  $\alpha$  จากการคำนวณค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ด้วยวิธีเดียวกับที่ได้กล่าวไว้ในเรื่องสายอากาศโคโพลแบบห้วง จะได้อินพุทอิมพีแดนซ์ในรูปต่อไปนี้คือ



รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างของวงจรแมทช์ รูปตัวที และวงจรสมมูลย์

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} = \frac{2Z_0(1+\alpha)^2 Z_L}{2Z_0 + (1+\alpha)^2 Z_L} \quad (4.1)$$

โดยที่  $Z_0$  และ  $Z_L$  เป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโคโทลและอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณวงจรปิดตรงปลายยาว  $l/2$  ซึ่งจะเขียนได้ในรูปต่อไปนี้คือ

$$Z_L = jZ_0 \tan(kl/2) \quad (4.2)$$

โดยที่

$$Z_0 = 60 \cosh^{-1} \left( \frac{s^2 - a^2 + 1}{2aa'} \right) \quad (4.3)$$

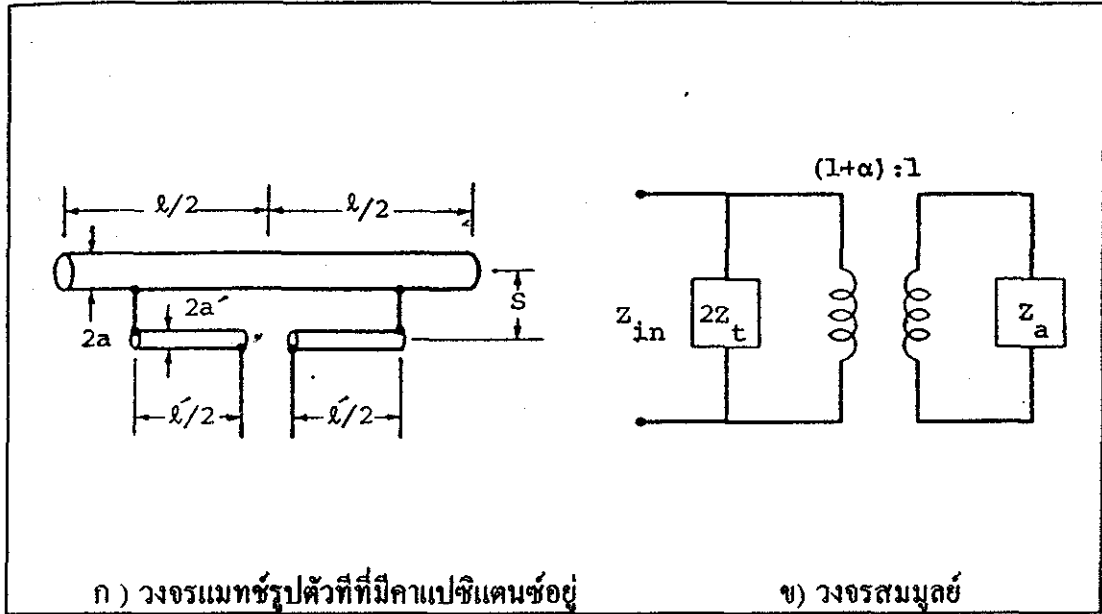
สำหรับ  $\alpha$  นั้น จะคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\alpha = \frac{\cosh^{-1} \left( \frac{v^2 - u^2 + 1}{2v} \right)}{\cosh^{-1} \left( \frac{v^2 + u^2 - 1}{2uv} \right)} \quad (4.4)$$

โดยที่  $u = a/a'$  และ  $v = s/a'$

เมื่อพิจารณาสมการ ( 3.24 ) แล้วจะเห็นได้ว่าการทำงานของวงจรแมทซ์รูปตัวที จะสามารถเขียนให้อยู่ในวงจรสมมูลดังรูปที่ 4.8 ข) ซึ่งอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ( $Z_L$ ) จะถูกยกให้สูงขึ้น  $(1+\alpha)^2$  เท่า และเนื่องจากโดยทั่วไปค่ารีแอกแตนซ์ของ  $Z_{in}$  จะเป็นแบบอินดักทีฟ ดังนั้นจึงมักต่อคาปาซิเตอร์  $C$  อนุกรมเข้าไปเพื่อให้เกิดเรโซแนนซ์และกำจัดค่ารีแอกแตนซ์ดังกล่าวนี้ รูปที่ 4.9 แสดงสภาพการใส่คาปาซิเตอร์เข้าไปที่ขั้วทั้งสองของสายอากาศ และวงจรสมมูลที่ได้ค่าคาปาซิแตนซ์เข้าไปที่ขั้วทั้งสองของสายอากาศ และวงจรสมมูลที่ได้ค่าคาปาซิแตนซ์ที่ใช้นี้จะคำนวณได้จาก

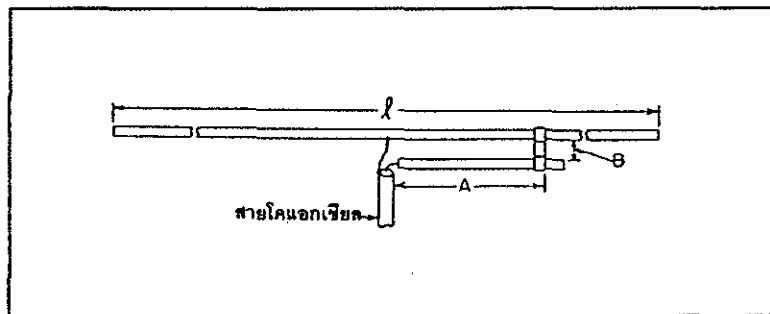
$$C = 2 C_{in} = \frac{1}{\pi f X_{in}} \quad (4.5)$$



รูปที่ 4.9 แสดงการใส่คาปาซิแตนซ์เพื่อให้เกิดเรโซแนนซ์ในการแม่ทรวงูรูปตัวที และวงจรสมมูลย์

4.6.2 วงจรแม่ทรวงูรูปตัวทีแบบแกมมา (Gamma)

จากรูป 4.10

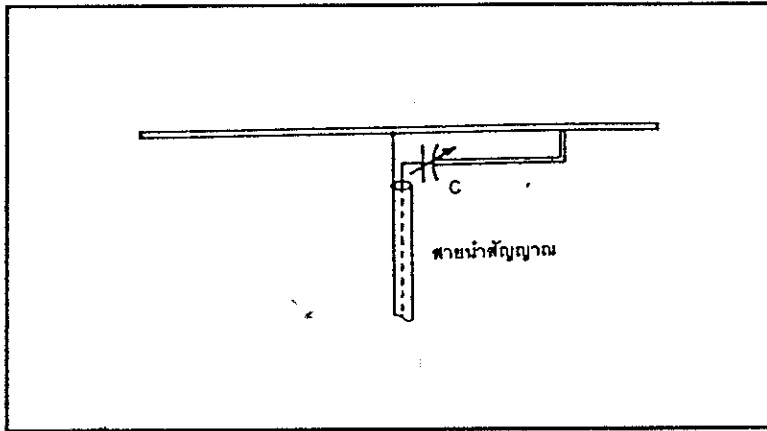


รูปที่ 4.10 แสดงวิธีแม่ทรวงูรูปตัวทีแบบแกมมาโดยใช้สายโคแอกเซียล ขนาด 52 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม

วิธีใช้หลักการเดียวกันกับวิธีรูปตัวที แต่มีเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้นเหมาะที่จะใช้กับสายแบบไม่สมดุล เช่นสายโคแอกเซียล เป็นต้น

วิธีกำจัดค่ารีแอกแตนซ์ก็เช่นเดียวกัน คือ ลดขนาดของสายอากาศ หรือต่อตัวเก็บประจุ

อนุกรมลงไปเหมือนดังรูป 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงการต่อตัวเก็บประจุอนุกรมเพื่อปรับค่าเรโซแนนซ์เป็นแบบแกมมา

วงจรแมทซ์อิมพีแดนซ์รูปตัวแกมมา ( $\Gamma$  match) จะใช้ในกรณีที่ป้อนเพาเวอร์จากสายโคแอกเซียลให้กับสายอากาศไดโพล รูปร่างของวงจรแมทซ์จะเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.11 กล่าวคือจะเป็นซิกหนึ่งของวงจรแมทซ์รูปตัวแกมมาและถ้าต่อคาปาซิเตอร์เอาไว้ จากการวิเคราะห์ทำนองเดียวกับวงจรแมทซ์รูปตัวที จะได้ว่าวงจรสมมูลดังที่แสดงไว้ดังรูป ในกรณีนี้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ถูกแปลงนั้นจะเป็น  $Z_a/2$  ( $Z_a$  เป็นอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพล) ซึ่งเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับสายอากาศโมโนโพล ที่มีอิมพีแดนซ์เป็นครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพล ดังนั้นอินพุทอิมพีแดนซ์ เมื่อคิดผลของคาปาซิเตอร์ด้วยจะเป็นดังนี้

$$Z_{in} = \frac{1}{j\omega c} + \frac{Z_t (1 + \alpha)^2 Z_a}{2 Z_t + (1 + \alpha)^2 Z_a} \quad (4.6)$$

การคำนวณเพื่อกำหนดค่าต่างๆ ของรูปตัวแกมมานี้จะทำได้เช่นเดียวกับวงจรแมทซ์รูปตัวที

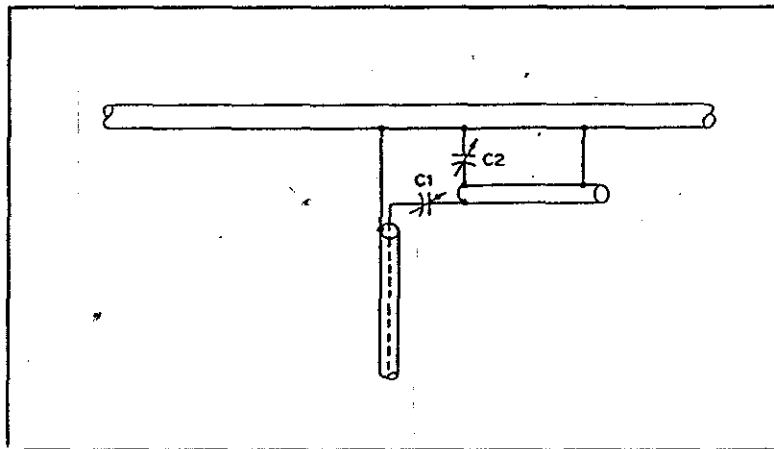
#### 4.6.3 วิธีแมทซ์อิมพีแดนซ์แบบโอเมก้า (Omega)

วิธีนี้มีการปรับปรุงเพิ่มขึ้นจากวิธีแบบแกมมา โดยใช้ตัวเก็บประจุต่อทั้งขนานและอนุกรมเพื่อกำจัดค่ารีแอกแตนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าให้หมดไป ดังแสดงในรูปที่ 4.12

จากรูป 4.12 C1 เป็นตัวเก็บประจุอนุกรมที่มีอยู่แต่เดิม

C2 เป็นตัวเก็บประจุที่เพิ่มขึ้นมา

การเพิ่มค่า C2 นี้ทำให้ขนาดแกมมาหรือแ่งตัวมาใช้สั้นลง และยังง่ายต่อการแมทซ์อีกในการปรับแต่ง C2 ทำหน้าที่ควบคุมความต้านทานของโหลด (สายอากาศ) เมื่อพิจารณาจากสายโคแอกเซียล ส่วน C1 ทำหน้าที่กำจัดรีแอกแตนซ์ให้หมดไป



รูปที่ 4.12 แสดงวิธีแมทซ์อิมพีแดนซ์แบบไอเมก้า

#### 4.7 สรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงวิธีการแมทซ์อิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับสายนำสัญญาณ เพื่อไม่ให้เกิดการสะท้อนกลับของกำลังซึ่งจะทำให้อัตราขยายที่ได้จากสายอากาศลดต่ำกว่าเท่าที่ควรและทำให้อุปกรณ์ส่วนหน้าของเครื่องรับโทรทัศน์มีอายุการใช้งานสั้นลง การแมทซ์สายอากาศที่กล่าวข้างต้นมีวิธีดังต่อไปนี้ การแมทซ์สายนำสัญญาณ, การแมทซ์โดยตรง, การแมทซ์โดยใช้บาลัน, การแมทซ์โดยใช้สตัด และ การแมทซ์โดยใช้วงจรลัมปพร้อมทั้งวงจรกระจาย ซึ่งสายอากาศที่วิสกรีน™ ที่เราสนใจศึกษาจะมีการแมทซ์โดยใช้วิธีการแมทซ์สายนำสัญญาณ โดยใช้สายนำสัญญาณที่มีอิมพีแดนซ์ประจำสายเท่ากับ 75 โอห์มซึ่งแมทซ์กับความต้านทานของสายอากาศที่จุดต่อ และสายอากาศสลิปทิส™ จะมีการแมทซ์อิมพีแดนซ์โดยใช้บาลันหม้อแปลงในกรณีที่อิมพีแดนซ์เป็น 1:4 เนื่องจากสายอากาศสลิปทิส™ มีพื้นฐานมาจากสายอากาศแบบรูปวงกลมซึ่งมีอิมพีแดนซ์ 350 โอห์ม และอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณที่ต่อกับเครื่องรับโทรทัศน์เท่ากับ 75 โอห์ม จึงมีการใช้บาลันหม้อแปลงแบบ 1:4

## บทที่ 5

### การออกแบบการทดลองการวัดคุณสมบัติของสายอากาศในย่านความถี่ VHF

#### 5.1 กล่าวนำ

สายอากาศในย่านความถี่ VHF นั้น ถึงแม้ความถี่จะสูงขึ้นและความยาวจะสั้นลงก็ตามผลกระทบจากพื้นดินหรือฝาผนังก็ยังเป็นปัญหาที่จะทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนไปได้ ดังนั้นการทำการทดลองจึงต้องให้สูงจากพื้นโลก และห่างไกลจากวัตถุสะท้อนคลื่นมากพอสมควร และทำการวัดในห้องไร้คลื่นสะท้อนได้ก็จะเป็นการดีที่สุด

การวัดคุณสมบัติของสายอากาศ นั้นมีหลักการและข้อควรคำนึงถึงหลายประการด้วยกัน ดังนี้

##### 5.1.1 สภาพแวดล้อมในการวัด

วิธีวัดคุณสมบัติของสายอากาศที่ให้ค่าที่ถูกต้องจริงๆ นั้น คือการวัดในสภาวะแวดล้อมที่ใช้งานได้จริงๆ คือทำการวัดในสภาพที่ติดตั้งใช้งานจริงๆ อยู่ เพราะคุณสมบัติของสายอากาศจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ใช้งานอยู่ อย่างไรก็ตามสายอากาศมักจะถูกติดตั้งไว้ในที่สูงๆ เสมอ ซึ่งทำให้ไม่สะดวกในการวัดคุณสมบัติต่างๆ โดยทั่วไปจะทำการวัดที่ตำแหน่งสูงกว่าพื้นโลกหรือตัวอาคารไม่มากนักเสมอ ซึ่งสภาพแวดล้อมเช่นนี้ผลกระทบจากพื้นโลกหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ อาจจะทำให้ค่าต่างๆ ที่วัดได้ผิดไปจากความจริงได้ โดยทั่วไปผลกระทบจะมีมากเมื่อระยะห่างระหว่างสายอากาศกับพื้นโลกหรือสิ่งก่อสร้างมีน้อยเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น ผลกระทบที่มีต่ออินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศนั้นจะเกิดขึ้น เนื่องจากอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเกิดจากการกระจายคลื่นออกไปกับตัวสายอากาศ ดังนั้นเมื่อเงื่อนไขในการกระจายคลื่นเปลี่ยนไปกล่าวคือมีพื้นโลกหรือสิ่งก่อสร้างอยู่ใกล้ๆ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะเปลี่ยนไปตามเงื่อนไขนั้นๆ สำหรับผลกระทบที่ต่อกระสวนของการแผ่คลื่นนั้นจะเกิดขึ้นจากการที่มีคลื่นสะท้อนจากพื้นโลกหรือสิ่งก่อสร้างเข้าสู่สายอากาศที่ต้องการวัดกระสวนของการแผ่คลื่น

##### 5.1.2 ระยะห่างที่จำเป็นในการวัด

การวัดกระสวนของการแผ่คลื่นของสายอากาศนั้น เนื่องจากโดยทั่วไปการใช้งานเป็นการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่จุดห่างไกล ดังนั้นสนามที่ทำการวัดจะต้องเป็นสนามที่ห่างไกลจึง



จะถูกต้อง ก่อนที่จะทำการกำหนดระยะห่างที่จำเป็นนั้น สมานแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่บริเวณต่างๆ ที่ห่างจากตัวสายอากาศเสียก่อน ที่บริเวณใกล้ๆ ตัวสายอากาศนั้นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีทั้งสนามสถิต สนามเหนี่ยวนำ และสนามที่กระจายออกไปอยู่ด้วย โดยทั่วไปเราเรียกบริเวณที่อยู่ห่างไกลนี้ว่า "บริเวณใกล้" (Near region) และเมื่อระยะทางห่างออกไปมากๆ เมื่อเทียบกับขนาดของสายอากาศ โดยทั่วไปสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่คงเหลืออยู่นั้นจะเป็นสนามที่กระจายออกไปเท่านั้น เราเรียกบริเวณที่อยู่ห่างออกไปนี้ว่า "บริเวณห่างไกล" (Far region หรือ Fraunhofer region)

ดังนั้นในการทดลองหารูปกระสวนของการแผ่คลื่นจึงมักจะใช้ในบริเวณห่างไกล

$$R \geq 2D^2 / \lambda \quad (5.1)$$

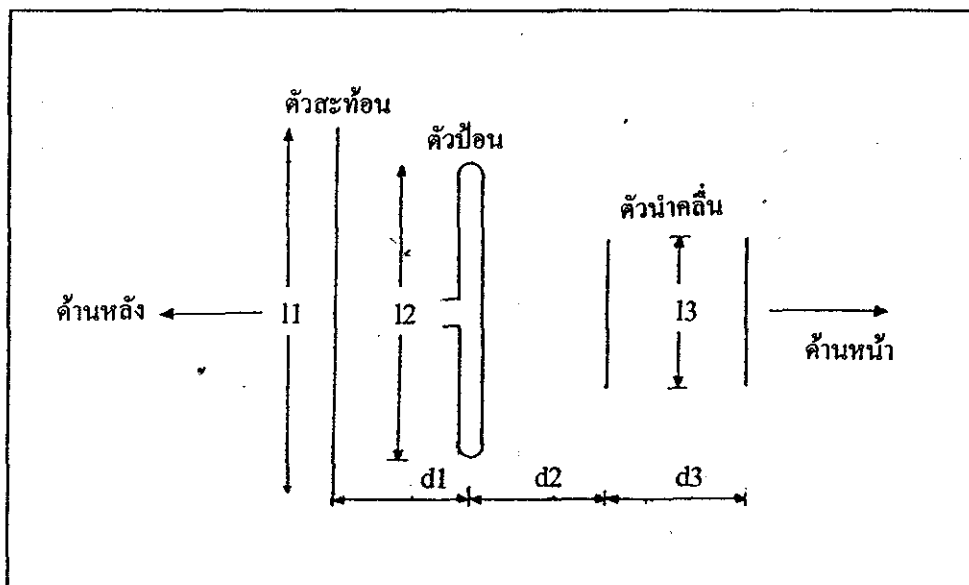
### 5.1.3 สายอากาศ

สำหรับสายอากาศส่งเราจะทำการสร้างสายอากาศยาคิโคโพล 3 อีลีเมนต์ ซึ่งมีโครงสร้างดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 คือ ประกอบด้วยตัวป้อน (exciter) 1 ตัว ตัวสะท้อนคลื่น (reflector) 1 ตัว และตัวนำคลื่น (director) ซึ่งอาจมีได้หลายๆ ตัวตามความต้องการ การทำงานของตัวประกอบต่างๆ ในโครงสร้างนั้น เป็นดังนี้คือตัวสะท้อนคลื่นที่จะไปทางด้านหลังให้กลับมาทางด้านหน้า ตัวนำคลื่นจะนำคลื่นเข้าสู่ตัวป้อนจึงทำให้ตัวป้อนสามารถรับคลื่นได้แรงขึ้นเมื่อเทียบกับใช้ตัวป้อนตัวเดียวโดดๆ ไปรับคลื่น ตัวป้อนนั้นจะทำหน้าที่รับคลื่นจากการสะท้อนและการนำคลื่นดังกล่าวและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดโวลเตจขึ้นที่ขั้วของตัวป้อน และโวลเตจนี้ก็จะถูกส่งผ่านเข้าสู่ระบบ โดยผ่านสายนำสัญญาณที่นำมาต่อตัวป้อนของ สายอากาศยาคิโคโพลที่ใช้ในการรับสัญญาณโทรทัศน์ โดยทั่วไปจะเป็นสายอากาศแบบห้วง (folded dipole) แทนที่จะใช้สายอากาศโคโพลแบบธรรมดา ซึ่งทำให้ตอบสนองความถี่ (frequency response) ดีขึ้น

ตารางที่ 5.1 แสดงขนาดของความยาวของตัวประกอบต่างๆ และช่วงห่างระหว่างตัวประกอบ ในตารางนี้ได้แสดงไว้ในรูปของความยาวคลื่น และแสดงช่วงที่เหมาะสมเอาไว้ พร้อมกับสถานีช่องต่างๆ ที่ส่งอยู่ในกรุงเทพฯ คือ ช่อง 3 ช่อง 5 ช่อง 7 ช่อง 9 และช่อง 11 การกำหนดค่าความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) นั้น กำหนดจากความถี่กลางของช่องสถานีช่องนั้นๆ ช่วงความยาวของตัวประกอบและระยะห่างระหว่างตัวประกอบเป็นดังที่แสดงไว้ในตาราง 5.1

สาเหตุที่สายอากาศยาคิโคโพลเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายนั้น เป็นเพราะว่าสายอากาศที่มีโครงสร้างแบบนี้ง่าย ๆ คือ มีจุดป้อนเพียงจุดเดียว จึงทำให้สะดวกในการใช้งานใน

ขณะเดียวกันก็มีอัตราขยายสูง จึงเป็นที่นิยมใช้ในงานงานรับสัญญาณโทรทัศน์ และในงานสื่อสารระหว่างจุดต่อจุด (point-to-point communication) โดยทั่วไป



รูปที่ 5.1 แสดงโครงสร้างของสายอากาศยาคีแบบโคโรลา

ตารางที่ 5-1 ขนาดความยาวและช่วงห่างของตัวประกอบต่างๆ

ช่อง ทีวี	ความยาว คลื่นศูนย์ กลาง (cm)	ความถี่ ศูนย์กลาง (MHz)	ความยาวของ ตัวสะท้อน $l_1 = 1.2\lambda/2$	ความยาวของ ตัวป้อน $l_2 = 0.95\lambda/2$	ความยาวของ ตัวนำคลื่น $l_3 = 0.8\lambda/2$	ช่วงห่างของตัว ประกอบ (cm) $d = 0.15\lambda$
3	522	57.5	313	248	208	78 104
5	169	177.5	101	80	68	25 34
7	157	191.5	94	75	63	23 31
9	146	205.5	88	69	58	22 29
11	137	219.5	82	65	55	10 24

ค่าในตารางเป็นเพียงตัวอย่างที่ใช้งานได้ดีตัวอย่างหนึ่ง ซึ่งในความจริงอาจมีการปรับแต่งช่วงห่าง  $d$  ของตัวประกอบโดยใช้เครื่อง Antenna Analyzer วัดไม่ให้เข็มกระดิกเกิน 15 เพื่อไม่ให้เครื่องเสีย ซึ่งเป็นติดตั้งสายอากาศส่งนั่นเอง

สายอากาศโคโพลมาตราฐานครึ่งความยาวคลื่น เราจะใช้ในการวัดอัตราขยายของสายอากาศ โดยจะทำงานเป็นสายอากาศครึ่งความยาวคลื่นที่ถูกต้องก็ต้องใช้ความยาวของสายอากาศที่ได้จากวิธีการคำนวณ ค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นค่าที่แสดงความยาวของสายอากาศที่เหมาะสมกับสถานีช่องต่างๆ

**ตารางที่ 5-2** แสดงความยาวของสายอากาศโคโพลมาตราฐานครึ่งความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับสถานีช่องต่างๆ

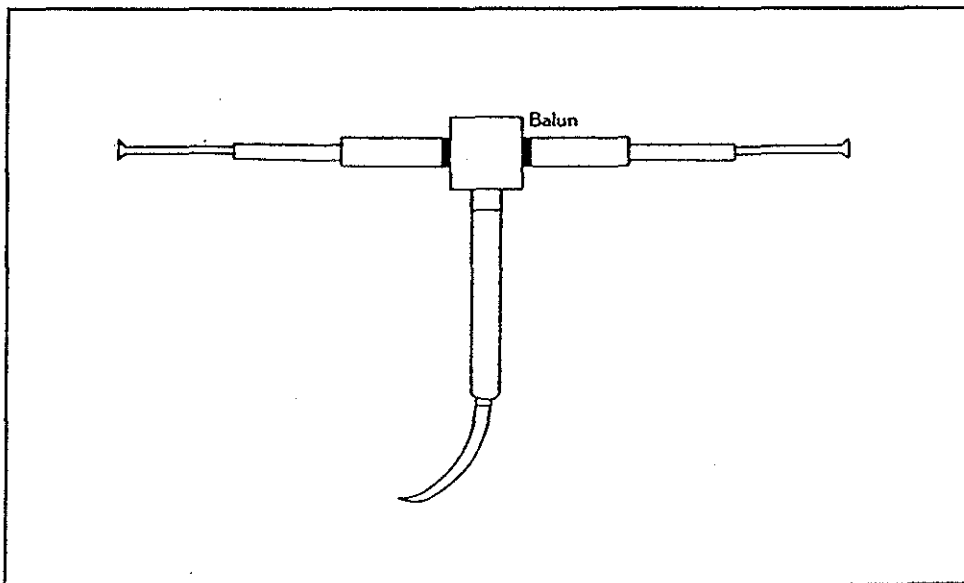
ช่องสถานีส่ง	ความถี่ (MHz)	ความยาวคลื่น (cm)	ความยาวของสายอากาศโคโพล (cm)
3	57.5	522.0	248.0
5	177.5	169.0	80.0
7	191.5	157.0	75.0
9	205.5	146.0	69.0
11	219.5	137.0	65.0

สิ่งสำคัญของสายอากาศแบบโคโพลนั้น นอกจากความยาวที่ถูกต้องแล้ว สายอากาศโคโพลมาตราฐานที่ดีจะมีส่วนที่เรียกว่า บาลันซ์ (balun) ที่ตรงจุดป้อน วงจรนี้จะการแปลงสายป้อนแบบบาลันซ์ (balanced) ให้เป็นแบบอับบาลันซ์ (unbalanced) ในกรณีของสายอากาศโคโพลที่ขั้วสายอากาศจะต้องการการป้อนจากสายแบบบาลันซ์ ซึ่งได้แก่สายแบบทวินลิต เมื่อเราป้อนด้วย (หรือว่ารับคลื่นด้วย) สายแบบโคแอกเชียลซึ่งเป็นสายแบบอับบาลันซ์ เราต้องใช้วงจรบาลันซ์เข้าช่วย เพื่อให้การส่งพลังงานเป็นไปได้อย่างราบรื่นขึ้น วงจรบาลันซ์ส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้เป็นวงจรแมทชิงไปในตัว สำหรับสายอากาศแบบโคโพลมาตราฐานนี้ วงจรบาลันซ์ที่ใช้จะถูกออกแบบให้ใช้งานได้ในความถี่ช่องกว้างมาก แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการออกแบบวงจรบาลันซ์ให้สามารถทำการแมทชิงในช่วงกว้างๆ ได้นั้น เป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เพราะฉะนั้นความสามารถในการแมทชิงนั้น จะมีเพียงบางช่วงเท่านั้นที่ทำได้ดีมาก ๆ คือ ค่า VSWR ใกล้เคียงกับ 1.0 แต่ช่วงอื่นๆ จะมีค่า VSWR ประมาณ 1.5 หรือต่ำกว่า 2.0 แต่ค่า VSWR ที่ต่ำกว่า 2.0 ลงมานี้ จะไม่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับของกำลังคลื่นอย่างน่าสังเกต จึงอาจจะไม่ต้องนำมาคิดก็ได้ดังนั้น ถ้าใช้สายอากาศโคโพลมาตราฐานที่มีวงจรบาลันซ์ติดอยู่แล้วปรับความยาวได้ถูกต้องตามความถี่ที่ต้องการวัดค่าที่อ่านจากเครื่องวัดสัญญาณก็คือ ได้ว่าค่าที่สายอากาศโคโพลมาตราฐานรับได้

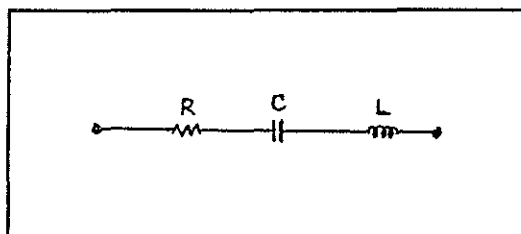
การทำการทดลองเพื่อวัดคุณสมบัติของสายอากาศนั้นนับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมากเรื่องหนึ่ง เพราะการวัดนั้นจะทำให้เราทราบว่าสายอากาศที่เราจะเลือกใช้นั้นมีคุณสมบัติดังที่เราต้องการหรือไม่ ซึ่งในหัวข้อ 5.1-5.3 จะกล่าวถึงหลักการทั่วไปในการออกแบบการวัดคุณสมบัติบางอย่างของสายอากาศในย่านความถี่ VHF

## 5.2 การออกแบบการทดลองการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศในย่านความถี่ VHF

สายอากาศทุกชนิดสามารถพิจารณาอยู่ในรูปของวงจรเรโซแนนซ์ RLC แบบอนุกรม ตามรูปที่ 5.3 การแมตซ์ที่ดีที่สุดก็คือ สายอากาศจะต้องถูกปรับแต่งให้เรโซแนนซ์ที่ความถี่ที่ต้องการให้มากที่สุดและค่า  $L$  และค่า  $C$  จะถูกกำจัดทิ้งให้หมด และค่า  $R$  ที่ยังคงมีอยู่จะต้องแมตซ์กันกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณอย่างพอดี



รูปที่ 5.2 แสดงสายอากาศแบบไดโพลมาตรฐานครึ่งความยาวคลื่น



รูปที่ 5.3 แสดงวงจรเรโซแนนซ์ RLC

### 5.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่องวิเคราะห์สายอากาศ (Antenna Analyzer) 1 เครื่อง
- 2) เครื่องมือปรับแต่งสายอากาศ 1 ชุด
- 3) สายอากาศสลิปทิก™และสายอากาศทีวีสกกรีน™

### 5.2.2 ขั้นตอนการปฏิบัติ

การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโดยวิธีตั้งค่าความถี่ให้คงที่

- 1) ปรับเซตอุปกรณ์ปรับปุ่มต่างๆ บนเครื่องวิเคราะห์สายอากาศตามที่กำหนดต่อไปนี้
  - . OSC.FREQ. -ปรับความถี่ที่ต้องการ
  - . FINE -ปรับไว้ที่ตำแหน่งใดๆ ก็ได้
  - . OSC.LEVEL -ปรับไว้ที่ค่าสูงสุด ( MAX )
  - .  $R = 75 \Omega$  , C-L = off , X = Min ( 5 pF )
  - . METER SENS -HI
  - . X - RANGE -VHF

ต่อสายนำสัญญาณของสายอากาศที่จะทดสอบเข้าที่ขั้ว ANTENNA LOAD เลื่อนปุ่ม ON ไปที่ตำแหน่ง CW ปรับปุ่ม FINE จนกระทั่งจอแสดงผลค่าความถี่ตามที่ต้องการ (ให้ปรับปุ่ม UP-DOWN เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและละเอียดที่สุด ถ้าเกิดการ Overflow) จอแสดงผลจะแสดงผลไม่ครบทุกหลักข้อ 1) ในการทดลองข้อ ต่อสายนำสัญญาณของสายอากาศเข้าที่ขั้วต่อ ANTENNA LOAD เปิดสวิทช์ POWER ไปที่ CW ปรับความถี่ตามที่ต้องการจะใช้งานคงที่เอาไว้

2) ปรับปุ่ม R เพื่อลดเข็มของมิเตอร์ให้ต่ำลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ปรับสวิทช์เลือก C-L โดยดูว่าเมื่อเลือกแล้วกรณีใดที่ทำให้เข็มของมิเตอร์เบี่ยงเบนน้อยกว่าให้เลือกกรณีนั้น จากนั้นปรับปุ่ม X เพื่อลดเข็มของมิเตอร์ให้ลงสู่ค่าต่ำที่สุดหรือตำแหน่ง 0 ลองปรับปุ่ม R อีกเล็กน้อยเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุด

3) บันทึกค่า R และ X ( $X_C$  หรือ  $X_L$ ) เอาไว้ โดยค่านี้จะเป็นองค์ประกอบของอิมพีแดนซ์ซึ่งวัดได้จากอินพุทของสายนำสัญญาณของสายอากาศ (จุด C รูปที่ 3) และถ้าสายนำสัญญาณที่ใช้ถูกตัดให้มีความยาวคงตัวที่จำนวน  $n$  เท่า ของครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ( $n\pi / 2$  Velocity Factor) ค่า R และ X ที่วัดได้ก็จะเปรียบเสมือนกับค่าอิมพีแดนซ์ที่เราวัดจากจุดป้อนสัญญาณ (Feed Point) ของสายอากาศโดยตรงนั่นเอง (จุด B ในรูปที่ 3) แต่ทั้งนี้ในการวัดค่าเรโซแนนท์และอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะต้องระมัดระวังในเรื่องของผลกระทบของสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจจะเป็นร่างกายของนักศึกษาเองหรือวัสดุที่เป็นโลหะรอบข้างด้วย

**ข้อแนะนำ** ถ้าหากความยาวของสายนำอากาศมีค่าใกล้เคียง  $(\pi/2) \times n$  แล้วปรากฏว่าเกิดค่า Capacitive Reactance ( $X_c$ ) ที่สายอากาศดังนี้ แสดงว่าความถี่เรโซแนนซ์จะมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดเอาไว้ เราสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความยาวของสายอากาศให้มากขึ้น หรือปรับ Loading Coil จนกระทั่งค่า ( $X_c$ ) ที่สายอากาศต้นเดียวกันนี้มีค่าความถี่เรโซแนนซ์ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ แสดงว่าเกิดค่า Inductive Reactance ( $X_L$ ) ขึ้นบนสายอากาศ เราสามารถแก้ไขได้โดยตัดหรือลดความยาวของสายอากาศให้สั้นลง

4) ทดลองปรับความยาวของสายอากาศให้มีความยาวต่ำกว่าและสูงกว่า ค่าความยาวครึ่งคลื่นของความถี่เรโซแนนซ์ แสดงวิธีคำนวณออกมาแล้วทดลองวัดใหม่ตั้งแต่ข้อ 1) ถึง 3) พร้อมทั้งบันทึกค่า R และ X เอาไว้

5) ปรับความยาวของสายอากาศกลับคืนสู่ค่าที่คำนวณเอาไว้ เพื่อปรับให้สายอากาศมีความถี่เรโซแนนซ์ตามที่ต้องการ จากนั้นปรับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ Matching บนตัวสายอากาศ พร้อมทั้งทำการวัดจนกระทั่งได้  $R = 75$  โอห์ม

**ข้อแนะนำ** - เนื่องจากค่า Reactance จะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ตลอดช่วงจุดวงกลมสี่ค่าที่อยู่บนสเกลของปุ่มปรับ X นั้น จะแสดงถึงค่า Reactance ที่ยังคงมีอยู่ประมาณในช่วง 10% ของค่า Resistance ที่ 75 โอห์ม ค่า X จะมีผลและเกิดขึ้นง่ายในกรณีที่ความถี่สูงคั้งนั้นถ้าปรับสายอากาศแล้วปรากฏว่ายังมีค่า X อยู่ในช่วง 10% ก็ถือว่าการ Matching นั้นใช้ได้สมบูรณ์แล้ว

- ในสายอากาศนั้นถ้าปรากฏว่ามีค่า X เกิดขึ้น สายอากาศจะไม่สามารถเรโซแนนซ์ที่ค่าความถี่ตามที่ต้องการได้เลย แลค่าของ R ก็อาจจะมีค่าไม่เท่ากับ 75 โอห์ม อย่างไรก็ตามในการปรับค่า R ของสายอากาศให้มีค่าเข้าใกล้ 75 โอห์ม นั้น สามารถทำได้โดยการปรับส่วนที่เป็นอุปกรณ์ Matching ดังนั้นเรามักจะปรับตรงส่วนนี้เป็นอันดับแรก หากยังได้ผลไม่เป็นที่พอใจก็จำเป็นจะต้องปรับแต่งในส่วนของอุปกรณ์ Matching ต่อไป

- ค่าของ X ที่ได้จากการวัดนั้น จะถูกต้องมากที่สุดก็ต่อเมื่อค่าของ R อยู่ในช่วง 65-85 โอห์ม ( 75 โอห์ม  $\pm$  10 โอห์ม ) และในขณะที่ X = OFF นั้น ก็ไม่ได้หมายความว่าเกิดการเรโซแนนซ์ที่แท้จริง

- ในกรณีที่สายอากาศใช้สายนำสัญญาณขนาดอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม เมื่อนำมาวัดเรโซแนนซ์จะปรากฏค่า  $X_c = 13$  pF หรือตรงจุดที่เครื่องหมาย แสดงอยู่ ซึ่งเป็นช่วงที่ค่า X ยังอยู่ในช่วง 15 % ของค่ารีซิสแตนซ์ 75 โอห์ม ดังนั้นในการพิจารณาที่สายนำสัญญาณ 75 โอห์ม ค่า X = 0 จะอยู่ที่ตำแหน่ง  $X_c = 13$  pF นั่นเอง

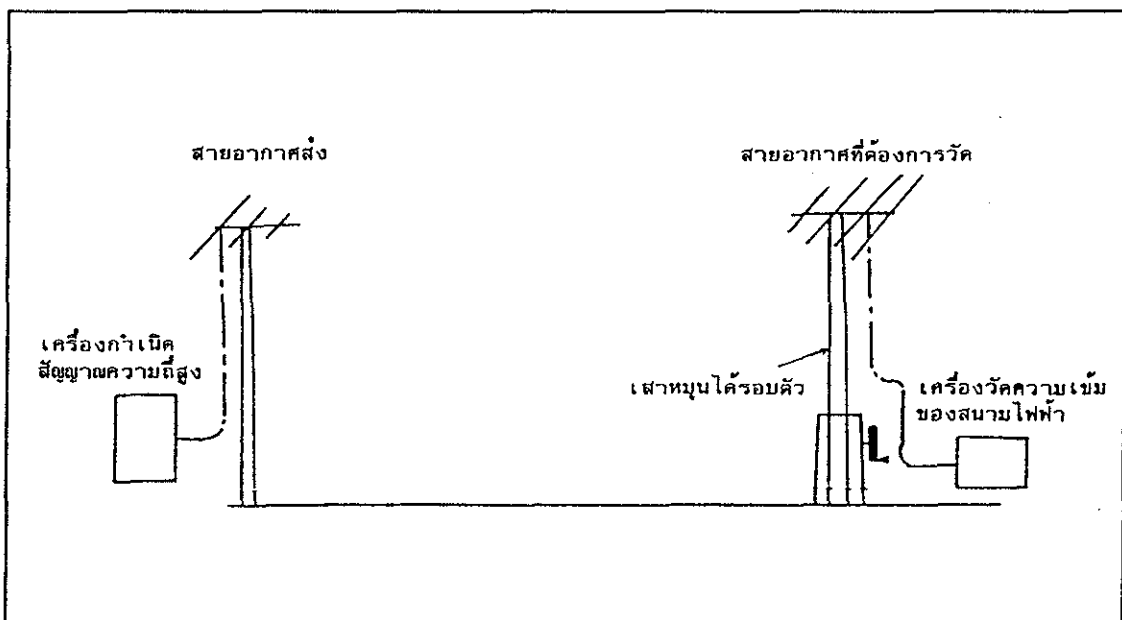
6) จากผลการทดลองนำมาพล็อตลงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Resistance และ

ค่า Reactance ที่มีผลต่อความถี่ของสายอากาศ และนำไปพล็อตลง Smith Chart

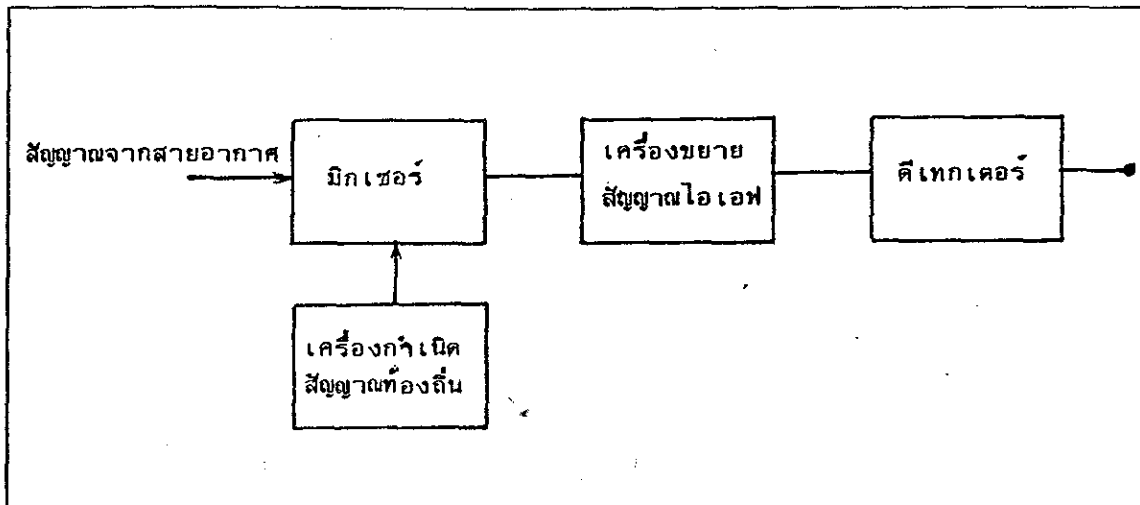
หลังจากนี้เราสามารถทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อสายอากาศได้จาก Smith Chart และการคำนวณจากค่าที่เราทราบจากการทดลองหาค่าอิมพีแดนซ์

### 5.3 การออกแบบการวัดกระสวนการแผ่ คลื่นของสายอากาศในย่านความถี่ VHF

การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศในย่านความถี่ VHF ส่วนใหญ่จะทำการวัดใน ระบาย B และ ระบาย H เพียงสองระบายเท่านั้น การติดตั้งสายอากาศนั้นต้องคำนึงถึงความสูง จากพื้นโลกและระยะห่างระหว่างสายอากาศ สายอากาศที่ต้องการวัดกระสวนการแผ่ คลื่นจะติดตั้ง บนเสาหมุดค้ำที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.4 การวัดนั้นจะใช้สายอากาศที่ต้องการวัดเป็นสายอากาศส่ง หรือสายอากาศวัดก็ได้ รูปที่ 5.4 แสดงกรณีที่ใช้สายอากาศที่ต้องการวัดกระสวนการแผ่คลื่นเป็น สายอากาศรับ การวัดความเข้มของสนามไฟฟ้า หรือใช้วิธีผสมสัญญาณให้เป็นสัญญาณ IF ออกมา แล้วอ่านค่าสัญญาณ IF นั้น โดยใช้เครื่องขยายสัญญาณ IF รูปที่ 5.4 แสดงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ ประกอบกันในการวัดด้วยวิธีหลังนี้ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าจะต้องมีเครื่องกำเนิดสัญญาณท้องถิ่น (Local oscillator) มิกเซอร์และเครื่องขยายสัญญาณ IF ซึ่งทำให้เครื่องวัดยุ่งยากขึ้น แต่วิธีนี้ จะมีข้อดีที่สามารถสกัดกั้นการรบกวนของความถี่ของสัญญาณใกล้เคียงที่ไม่ต้องการได้ และระดับ สัญญาณรบกวนต่ำ



รูปที่ 5.4 แสดงการติดตั้งสายอากาศและเครื่องวัดที่ใช้ในการวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศในย่านความถี่ VHF



รูปที่ 5.5 แสดงส่วนประกอบอุปกรณ์ที่ใช้ผสมสัญญาณให้เป็น IF

เนื่องจากการติดตั้งสายอากาศบนแท่นหมุนนั้น แท่นหมุนจะหมุนในแนวอนเท่านั้น การหมุนจะหมุนไปครั้งละ 10 องศา ดังนั้นถ้าต้องการวัดกระสวนการแผ่คลื่นในระนาบ E ก็ต้องติดตั้งสายอากาศให้มีระนาบ E ขนานกับพื้นโลก ในทำนองเดียวกันถ้าต้องการวัดกระสวนการแผ่คลื่นในระนาบ H ก็ต้องติดตั้งให้ระนาบ H ขนานกับพื้นโลก ซึ่งจะทำให้โดยติดตั้งให้สายอากาศอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก

ในการวัดค่าและบันทึกค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า นั้น ก็จะทำให้ได้โดยการควบคุมการหมุนของแท่นด้วยมือ แล้วทำการวัดค่าที่มุมต่างๆ ที่เหมาะสม

### 5.3.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 1) เครื่องวิเคราะห์สายอากาศ (Antenna Analyzer)
- 2) เครื่องวัดระดับสัญญาณโทรทัศน์ (T.V. Field Strength Analyzer)
- 3) เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator)
- 4) แท่นที่สามารถปรับองศาเพื่อทดสอบการรับสัญญาณโดยรอบ
- 5) สายอากาศส่ง (สายอากาศยาคิแบบไดโพลตามสถานีช่องต่างๆ )
- 6) สายอากาศที่ต้องการทดสอบ (สายอากาศ ทีวีสกปริน™ และสายอากาศลิปติก™)

### 5.3.2 วิธีทำการทดลอง

- 1) ใช้สายอากาศส่ง (สายอากาศยาคิแบบไดโพล) ความถี่ตามช่องโทรทัศน์ดังนี้

ช่อง 3 ความถี่ = 57.50 MHz



ช่อง 5 ความถี่ = 177.50 MHz

ช่อง 7 ความถี่ = 191.50 MHz

ช่อง 9 ความถี่ = 205.50 MHz

ช่อง 11 ความถี่ = 219.50 MHz

โดยการใช้เครื่อง Antenna Analyzer วัดไม่ให้เข็มกระดิกเกิน 15 เพื่อไม่ทำให้เครื่องเสีย ซึ่งเป็นติดตั้งสายอากาศส่งนั่นเอง

2) นำสายอากาศที่ต้องการทำการทดสอบในที่นี้คือสายอากาศที่วีสกกรีน™ และสายอากาศ สิบทิศ™ โดยนำสายอากาศที่ต้องการทดสอบมาติดตั้งบนแท่นที่สามารถหมุนปรับองศาในการรับ สัญญาณโทรทัศน์ได้ โดยจะทำการหมุนไปทาง - หรือ + 180 องศา โดยการหมุนไปที่ละ 10 องศา บันทึกผลจากการอ่านค่าจากเครื่องวัดระดับสัญญาณโทรทัศน์

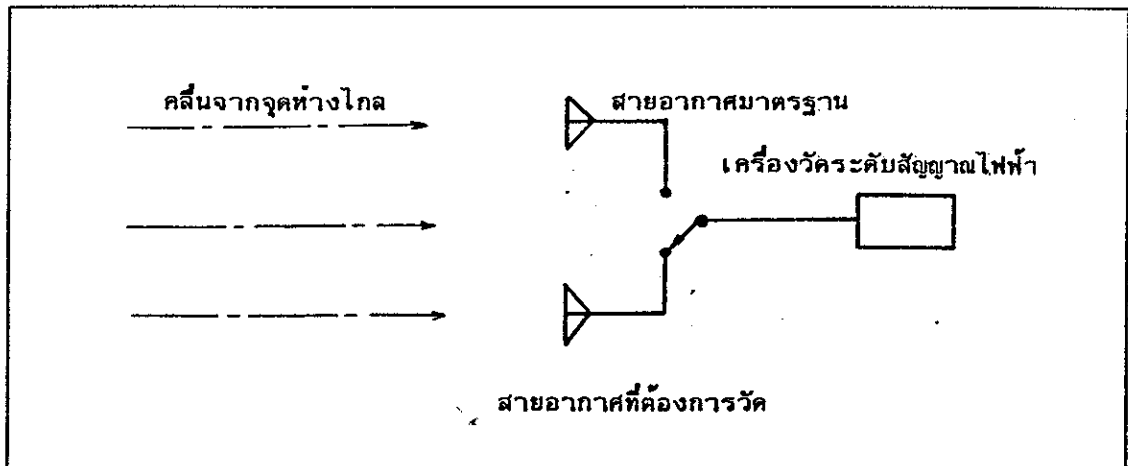
3) นำผลการทดลองที่ได้ไปวาดลงกราฟรูปกระสวนการแผ่คลื่น

4) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1 โดยปรับสายอากาศไดโพลที่ใช้ส่งสัญญาณเป็นช่อง 5, 7, 9 และ ช่อง 11

#### 5.4 การออกแบบการทดลองการวัดอัตราขยายของสายอากาศ

การวัดอัตราขยายของสายอากาศในย่านความถี่ VHF และ UHF นั้นโดยทั่วไปมักจะทำการวัด โดยเปรียบเทียบกับสายอากาศไดโพลมาตรฐาน โดยใช้สายอากาศที่ต้องการวัดกับสายอากาศไดโพลมาตรฐานรับคลื่นจากแหล่งกำเนิดคลื่นที่ตำแหน่งเดียวกัน รูปที่ 5.6 แสดงส่วนประกอบของเครื่องมือที่ใช้ในการวัด สำหรับการวัดความเข้มของสนามไฟฟ้า หรือใช้วิธีผสมสัญญาณให้เป็นความถี่กลาง IF อย่างใดอย่างหนึ่งแล้วแต่ความเหมาะสม ข้อควรระวังในการวัดอัตราขยายก็คือสายที่ต่อจากสายอากาศทั้งสองมายังเครื่องวัดควรจะเป็นสายเส้นเดียวกัน หรือควรจะเป็นสายชนิดเดียวกันที่ยาวเท่ากัน ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียในสายที่ไม่กัน นอกจากนั้นเมื่อทำการวัดการตอบสนองต่อความถี่ ก็ต้องปรับความยาวของสายอากาศไดโพลมาตรฐานให้เหมาะสมตามความถี่นั้นๆ ด้วย

ค่าที่วัดได้ด้วยการใช้สายอากาศไดโพลมาตรฐานเป็นตัวเปรียบเทียบนั้นจะเป็นค่าอัตราขยายเปรียบเทียบ ซึ่งถ้าต้องการค่าเป็นอัตราขยายสัมบูรณ์ก็ต้องบวกด้วย 2.15 dB



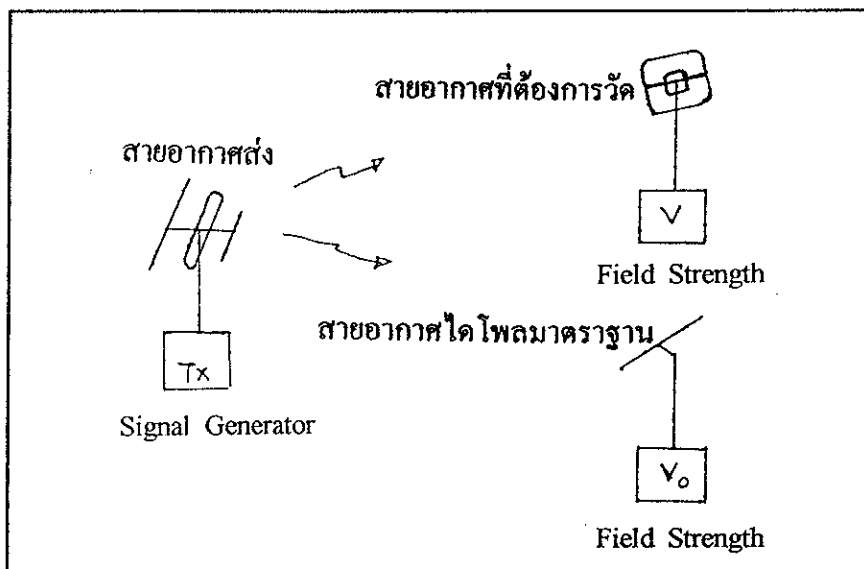
รูปที่ 5.6 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการวัดอัตราขยายของสายอากาศของสายอากาศ VHF และ UHF

#### 5.4.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 1) เครื่องวัดระดับสัญญาณโทรทัศน์ (T.V. Field Strength Analyzer)
- 2) สายอากาศมาตรฐานครึ่งความยาวคลื่น
- 3) สายอากาศส่ง (สายอากาศยาก็ 3 อีลีเมนต์)
- 4) สายอากาศรับที่ต้องการทดสอบ (สายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศลิปทิก™)
- 5) เครื่องส่ง (Signal Generator)

#### 5.4.2 วิธีทำการทดลอง

1. ทำการติดตั้งการทดลองดังรูป 5.7



รูปที่ 5.7 แสดงการติดตั้งการทดลองวัดค่าอัตราขยายของสายอากาศ

2. ทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นตามช่องสถานีโทรทัศน์ช่องต่างๆ โดยความยาวที่เหมาะสมคือความยาวที่เป็น 0.95 เท่าของความยาวคลื่นของความถี่ศูนย์กลางของแต่ละช่อง

$$\text{ช่อง 3 ความถี่} = 57.50 \text{ MHz}$$

$$\text{ช่อง 5 ความถี่} = 177.50 \text{ MHz}$$

$$\text{ช่อง 7 ความถี่} = 191.50 \text{ MHz}$$

$$\text{ช่อง 9 ความถี่} = 205.50 \text{ MHz}$$

$$\text{ช่อง 11 ความถี่} = 219.50 \text{ MHz}$$

จากสมการ 2.1

$$\text{ความยาวคลื่น} = \frac{\text{ความเร็วแสง}}{\text{ความถี่}} = \frac{3 \times 10^8}{\text{ความถี่ของแต่ละช่อง}} \quad (5.2)$$

$$\text{สายอากาศไดโพลมีความยาว (L)} = \frac{\text{ความยาวคลื่น } (\lambda)}{2} \quad (5.3)$$

ความยาวของสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่นที่เหมาะสมจะต้องมีความยาวเป็น 0.95 เท่าของสายอากาศไดโพลมีความยาว (L) ดังนั้นจากการคำนวณจะได้ตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5-2 แสดงความยาวของสายอากาศไดโพลมาตรฐานครึ่งความยาวคลื่นที่เหมาะสมกับสถานีช่องต่างๆ

ช่องสถานีส่ง	ความถี่ (MHz)	ความยาวคลื่น (cm)	ความยาวของสายอากาศไดโพล x 0.95 (cm)
3	57.5	522.0	248.0
5	177.5	169.0	80.0
7	191.5	157.0	75.0
9	205.5	146.0	69.0
11	219.5	137.0	65.0

3) กางสายอากาศโคโพลคริ่งความยาวคลื่นให้มีขนาดตามที่คำนวณได้ แล้วทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศโคโพลคริ่งความยาวคลื่น

4) ทำการวัดอัตราขยายของสายอากาศที่วิสกรีน™ และสายอากาศสลิปทิส™

5) ทำการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศที่วิสกรีน™ และสายอากาศสลิปทิส™ โดยเทียบกับสายอากาศโคโพลคริ่งความยาวคลื่น

## 5.5 สรุป

จากการออกแบบการทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศในย่านความถี่ VHF นั้น เราจะศึกษาการออกแบบการวัดอิมพีแดนซ์, กระบวนการแผ่คลื่น และอัตราขยายของสายอากาศในย่าน VHF เหตุผลที่เลือกจะทดลองวัดคุณสมบัติเหล่านี้ของสายอากาศ เนื่องจากการวัดอิมพีแดนซ์จะทำให้ทราบว่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับสายนำสัญญาณที่ต่อกับเครื่องรับสัญญาณโทรทัศน์นั้นมีอิมพีแดนซ์แมตช์กันหรือไม่ เพราะเกิดไม่แมตช์กันเกิดขึ้นจะทำให้กำลังของคลื่นบางส่วนจากเครื่องรับโทรทัศน์จะถูกสะท้อนกลับมายังเครื่องรับโทรทัศน์ ซึ่งจะให้อัตราขยายที่ได้จากสายอากาศลดต่ำกว่าเท่าที่ควรและทำให้อุปกรณ์ส่วนหน้าของเครื่องรับโทรทัศน์มีอายุการใช้งานสั้นลง สำหรับการศึกษากการออกแบบการวัดกระบวนการแผ่คลื่นเนื่องจากต้องการทราบว่าสายอากาศที่เราสนใจจะศึกษานั้นมีความสามารถในการรับสัญญาณได้รอบทิศทางหรือไม่ และสำหรับการศึกษากการออกแบบการวัดอัตราขยายเพราะการวัดอัตราขยายจะทำให้เราทราบถึงความสามารถในการรับคลื่นว่าจะรับได้แรงมากน้อยเพียงใด โดยเปรียบเทียบกำลังของคลื่นที่รับได้ระหว่างสายอากาศที่เราสนใจจะศึกษากับสายอากาศมาตรฐานคริ่งความยาวคลื่น จากการออกแบบการทดลองแล้วในบทที่ 6 จะเป็นผลการทดลองวัดคุณสมบัติเหล่านี้

## บทที่ 6

### ผลการทดลอง

#### 6.1 กล่าวนำ

จากการศึกษาการออกแบบการวัดคุณสมบัติของสายอากาศในบทที่ 5 แล้วนั้น เราจะทราบถึงวิธีการวัดอิมพีแดนซ์, ภาระสวนการแผ่คลื่น และอัตราขยายของสายอากาศที่เราสนใจจะศึกษา (สายอากาศทีวีสกรีน<sup>TM</sup> และสายอากาศสลิปทิส<sup>TM</sup>) และในบทที่ 6 นี้ จะเป็นผลการทดลองการวัดค่าเหล่านั้นของสายอากาศ เพื่อจะส่วนในการตัดสินใจที่จะเลือกใช้สายอากาศที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันให้เหมาะสมกับการใช้งานในโอกาสต่อไป ซึ่งผลการทดลองจะแสดงในหัวข้อ 6.2-6.4 ดังต่อไปนี้

#### 6.2 ผลการทดลองการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทีวีสกรีน<sup>TM</sup> และสายอากาศสลิปทิส<sup>TM</sup>

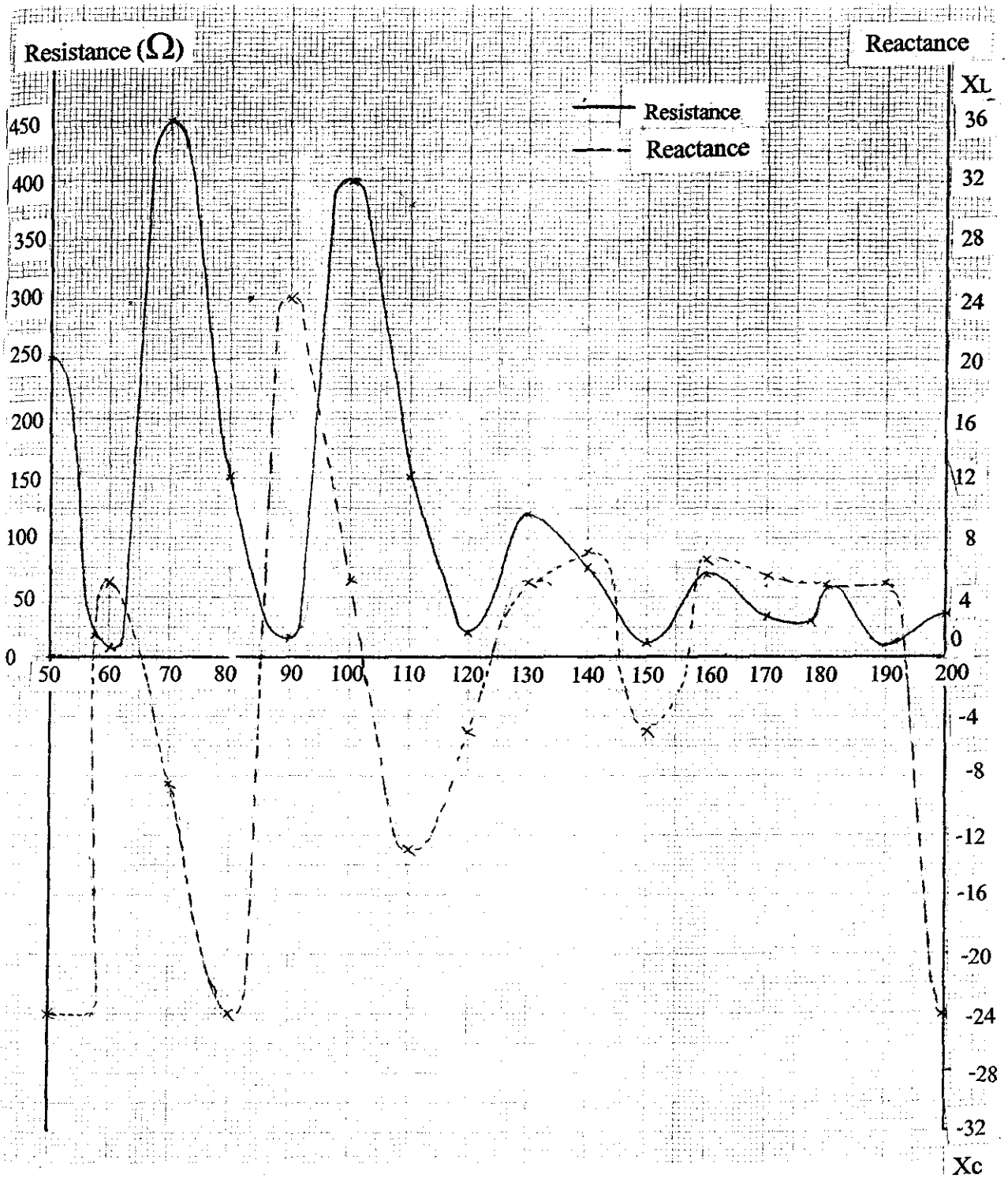
จากการติดตั้งการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทีวีสกรีน<sup>TM</sup> และสายอากาศสลิปทิส<sup>TM</sup> และทำการทดลองตามหัวข้อที่ 5.2 การออกแบบการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศย่าน VHF จะทำให้ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6-1 และตารางที่ 6-2

**ตารางที่ 6-1** ผลการทดลองการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทีวีสกรีน™

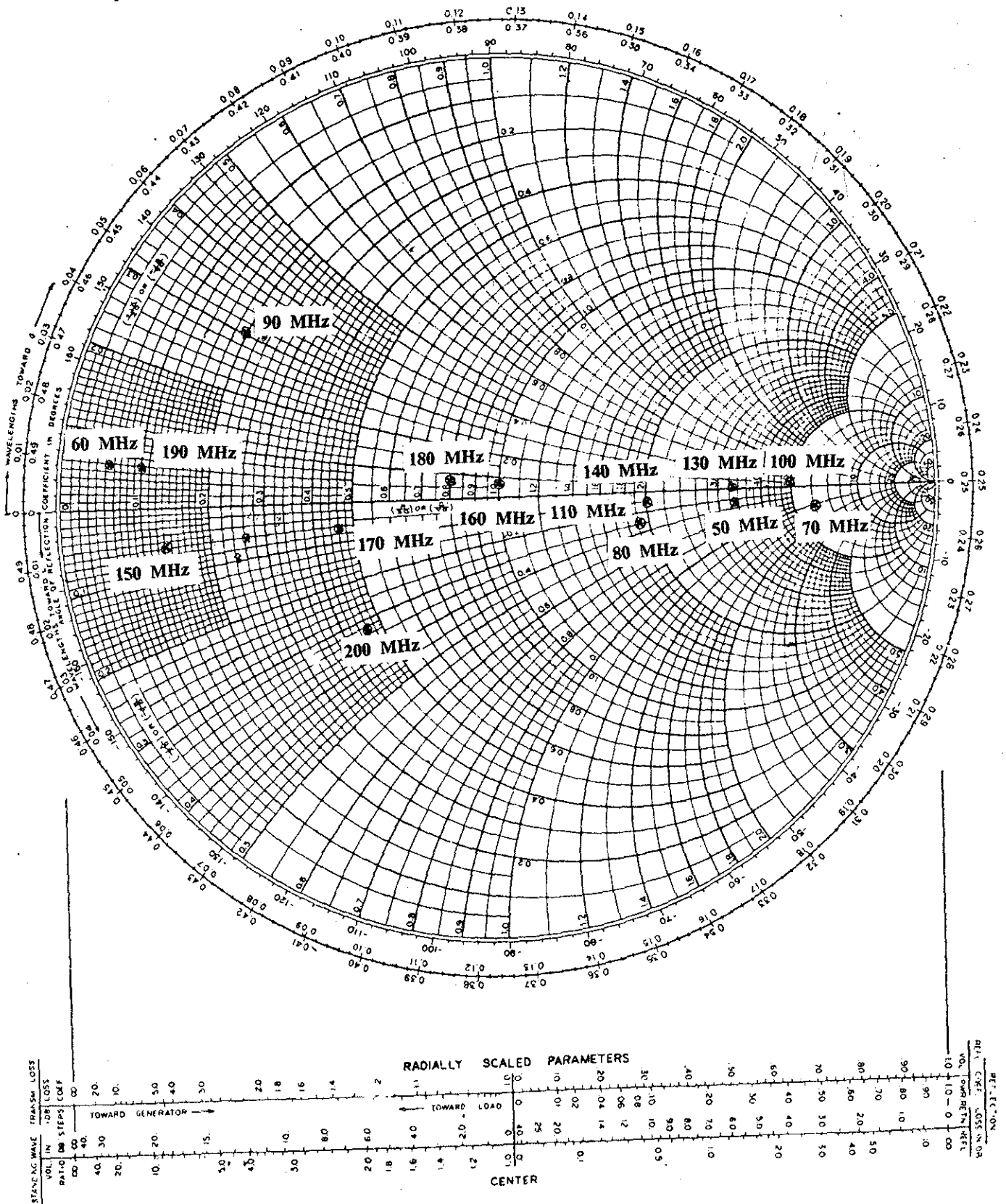
ความถี่ ( MHz )	อิมพีแดนซ์ ( โอห์ม )
50	250 - j24
60	4 + j5
70	450 - j8.5
80	145 - j24
90	15 + j24
100	400 + j5
110	150 - j13
120	20 - j5
130	250 + j5
140	150 - j7
150	10 - j5
160	75 + j6.5
170	35 - j5.5
180	60 + j5
190	8 + j5
200	35 - j24

จากผลการทดลองตารางที่ 6-1 จะทำให้ทราบว่าสายอากาศทีวีสกรีน™ จะมีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม ที่ความถี่ 160 เมกะเฮิร์ต ซึ่งแสดงว่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับเครื่องรับโทรทัศน์ จะแมตช์กันที่ความถี่ 160 เมกะเฮิร์ต จากตารางที่ 6-1 สามารถนำไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Resistance และค่า Reactance ที่มีต่อความถี่ของสายอากาศทีวีสกรีน™ ดังรูปที่ 6.1 และนำไปพล็อตลง SMITH CHART ได้ดังรูปที่ 6.2

รูปที่ ๑.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Resistance และค่า Reactance ที่มีผลต่อความถี่  
ของสายอากาศทิวีสกรีน™



รูปที่ 6.2 แสดง SMITH CHART ของสาขาอากาศวิศวกรรม<sup>๔๔</sup>™



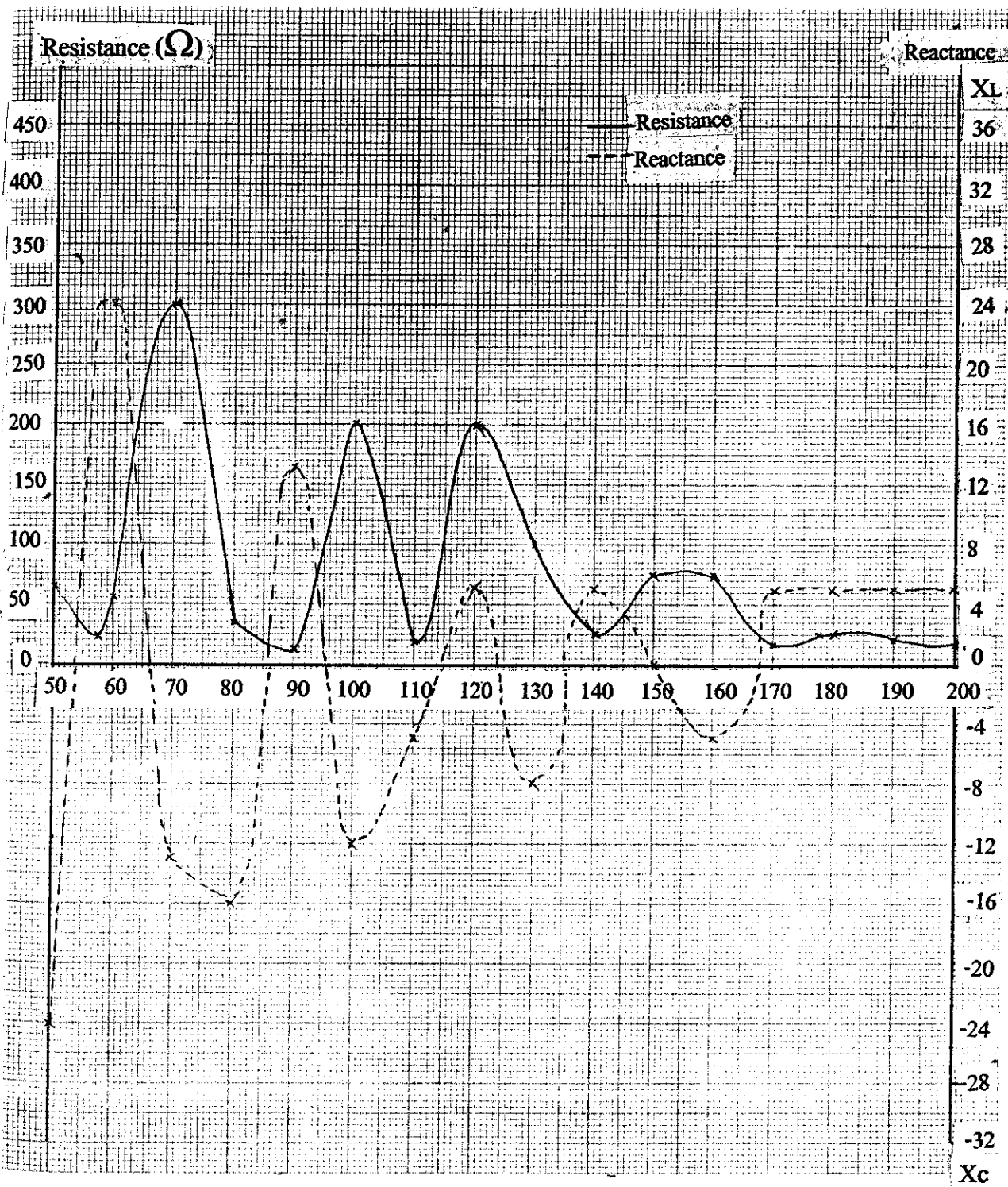


ตารางที่ 6-2 ผลการทดลองการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศลึบทิศ™

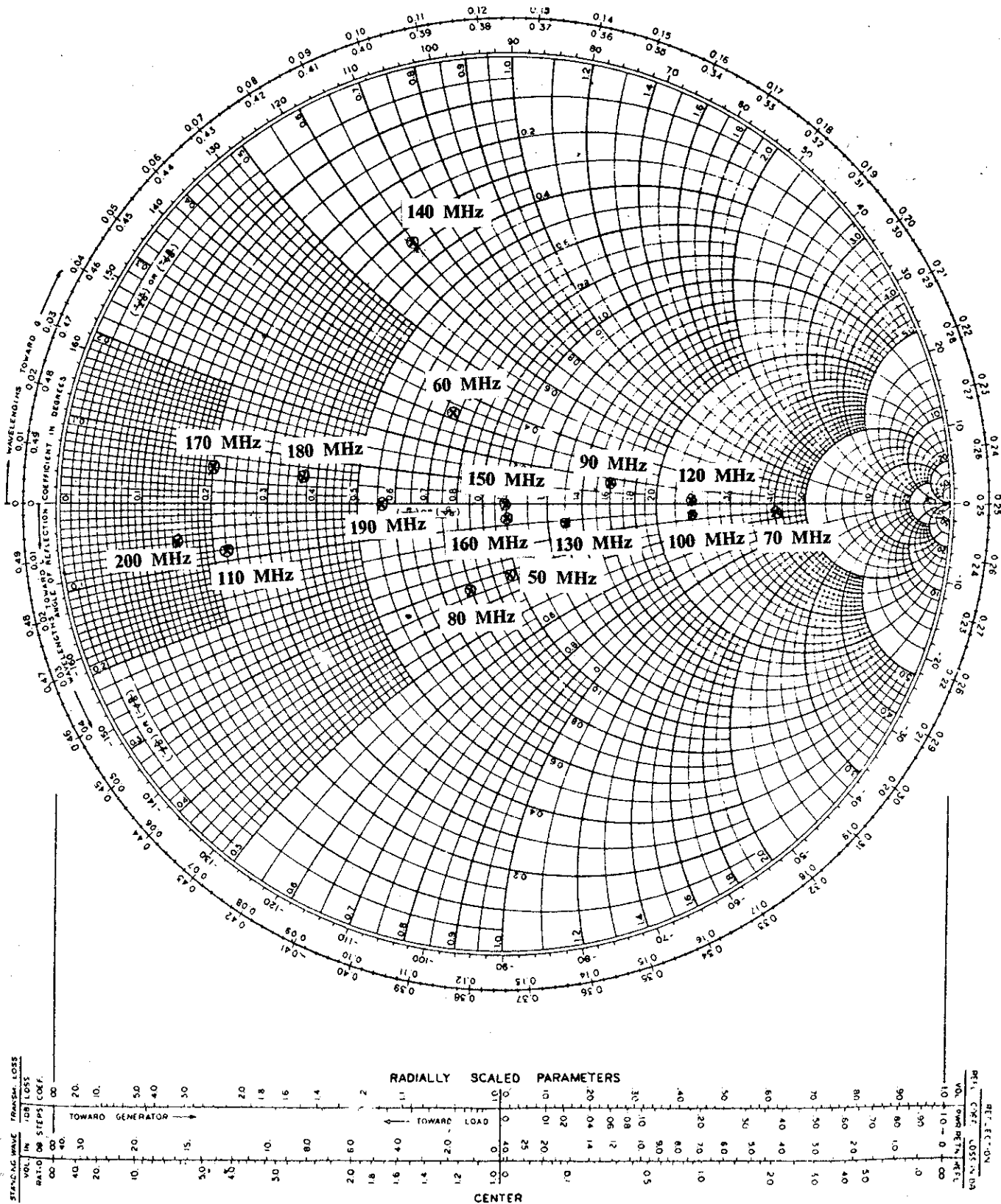
ความถี่ ( MHz )	อิมพีแดนซ์ ( โอห์ม )
50	68 - j24
60	55 + j24
70	300 - j15
80	60 - j24
90	120 + j14
100	180 - j12
110	17 - j6
120	180 + j5
130	100 - j9
140	25 + j5
150	75
160	75 - j5
170	15 + j5
180	28 + j5
190	42
200	11 + j5

จากผลการทดลองตารางที่ 6-2 จะทำให้ทราบว่าสายอากาศลึบทิศ™ จะมีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม ที่ความถี่ 150 เมกะเฮิร์ต ซึ่งแสดงว่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศกับเครื่องรับโทรทัศน์ จะแมตช์กันที่ความถี่ 150 เมกะเฮิร์ต จากตารางที่ 6-2 สามารถนำไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Resistance และค่า Reactance ที่มีต่อความถี่ของสายอากาศลึบทิศ™ ดังรูปที่ 6.3 และนำไปพล็อตลง SMITH CHART ได้ ดังรูปที่ 6.4

**รูปที่ ๑.๑** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Resistance และค่า Reactance ที่มีผลต่อความถี่ของสายอากาศสี่บิต<sup>TM</sup>



รูปที่ 6.4 แสดง SMITH CHART ของสายอากาศสลับทิศ™



### 6.3 ผลการทดสอบการวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกกรีน<sup>TM</sup> และสายอากาศสิบทิศ<sup>TM</sup>

จากการติดตั้งการทดลองดังรูปที่ 5.4 แล้วทำการทดลองตามหัวข้อ 5.3 การออกแบบการวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศในย่าน VHF จากการคำนวณระยะ Far Field ตามสมการที่ 5.1 เราจะได้ระยะ Far Field เท่ากับ 4 เมตร เป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ซึ่งทราบได้จากการคำนวณหาระยะ Far Field ที่ความถี่ ช่อง 3-ช่อง 11 จะได้ระยะ Far Field เท่ากับ 63.18-250 เซนติเมตร แต่เราจะต้องเลือกทดลองโดยให้ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับมากกว่าระยะ Far Field ดังนั้นจึงเลือกระยะ 4 เมตร ในการทดลองในหัวข้อ 6.3 ซึ่งทำให้ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6-3 ถึงตารางที่ 6-12 และจากตารางเหล่านี้เราสามารถนำไปพล็อตรูปกระสวนการแผ่คลื่นได้ดังรูปที่ 6.5-6.14

ผลการทดสอบการวัดกระสวนการแผ่คลื่น

สายอากาศทีวีสกรีน™

Date/Time 18 ธ.ค. 39 / 16.30 น.

Frequency 57.50 MHz ( ช่อง 3 )

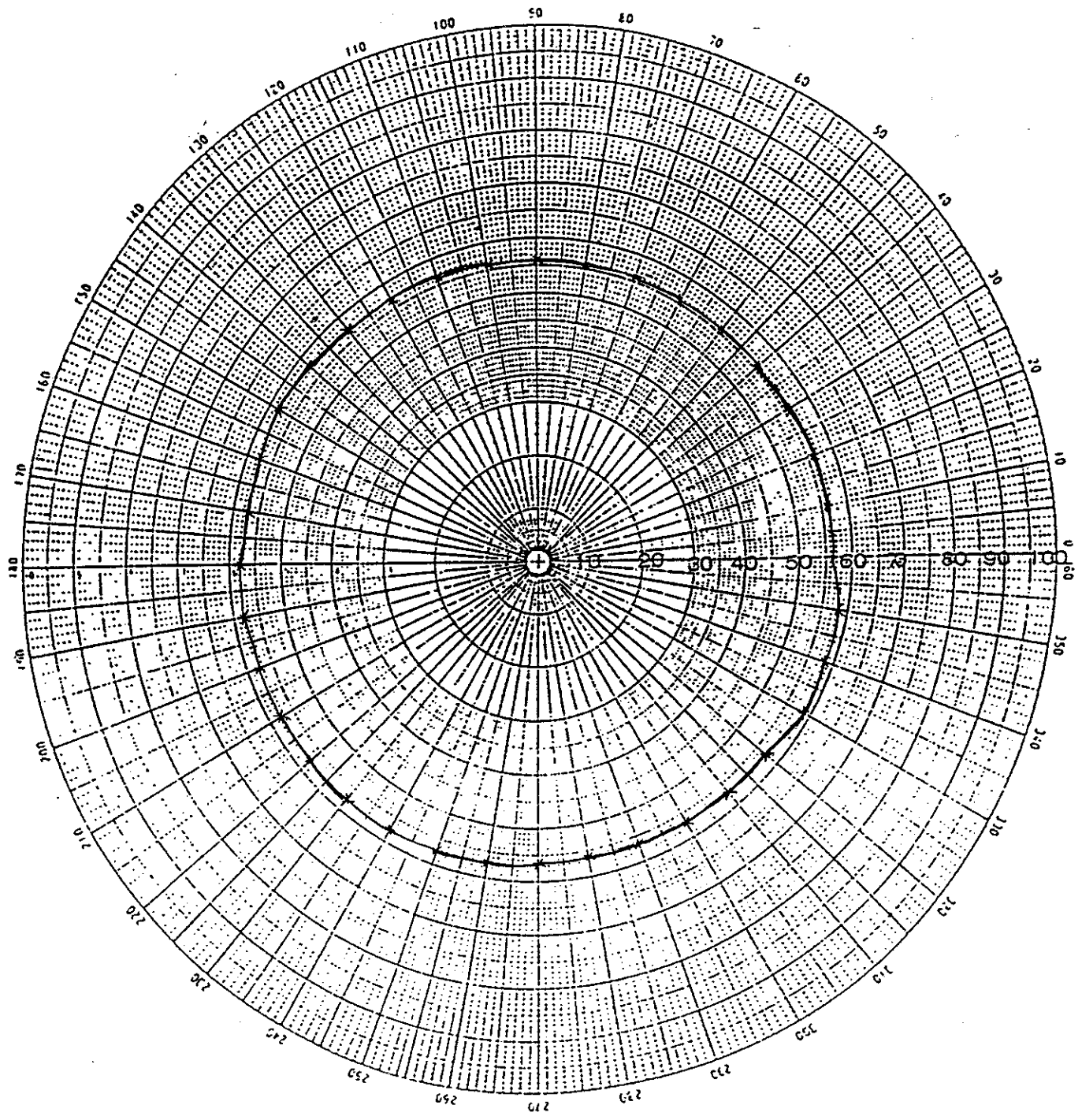
Height 1.62 m.

Measurement condition GOOD

Distance 4 m.

ตารางที่ 6-3 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน™ ช่อง 3

มุม	dB $\mu$ v	มุม	dB $\mu$ v
0	56.0	180	57.9
10	56.1	190	57.9
20	56.0	200	57.9
30	55.9	210	57.9
40	55.8	220	57.7
50	55.6	230	57.5
60	55.5	240	57.4
70	55.4	250	57.2
80	55.5	260	57.0
90	55.8	270	56.8
100	56.0	280	56.7
110	56.3	290	56.8
120	56.6	300	57.0
130	57.0	310	57.3
140	57.7	320	57.6
150	57.9	330	57.9
160	57.5	340	58.2
170	57.7	350	58.5



รูปที่ 6.5 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทิวสกรีน™ ช่อง 3

## ผลการทดสอบการวัดกระสวนการแผ่คลื่น

สายอากาศลิบทิศ™

Date/Time 18 ธ.ค.39 / 13.30 น.

Frequency 57.50 MHz ( ช่อง 3 )

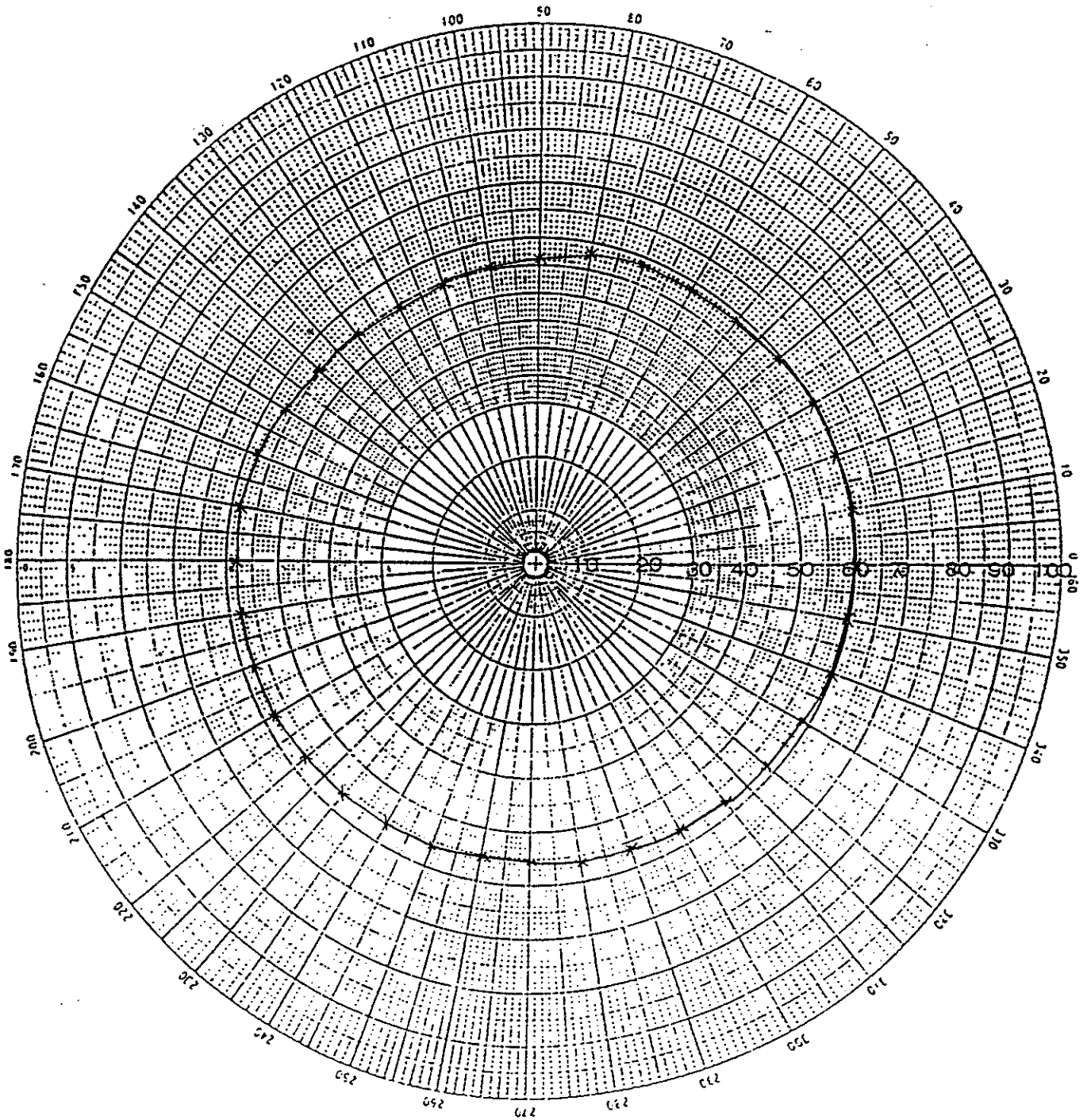
Height 1.62 m.

Measurement condition GOOD

Distance 4 m.

## ตารางที่ 6-4 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศลิบทิศ™ ช่อง 3

มุม	dB $\mu$ v	มุม	dB $\mu$ v
0	60.0	180	57.9
10	60.0	190	58.1
20	59.8	200	58.0
30	59.7	210	57.9
40	59.3	220	57.5
50	58.8	230	57.0
60	58.5	240	56.6
70	57.7	250	55.9
80	57.0	260	55.4
90	56.2	270	55.3
100	55.4	280	55.7
110	55.0	290	56.4
120	54.9	300	57.1
130	55.3	310	57.9
140	55.8	320	58.6
150	56.5	330	59.2
160	57.0	340	59.6
170	57.6	350	59.5



รูปที่ 6.6 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศสี่บิต<sup>TM</sup> ช่อง 3



## ผลการทดสอบการวัดกระสวนการแผ่คลื่น

สายอากาศทีวีสกรีน™

Date/Time 19 ธ.ค. 39 / 16.45 น.

Frequency 177.5 MHz ( ช่อง 5 )

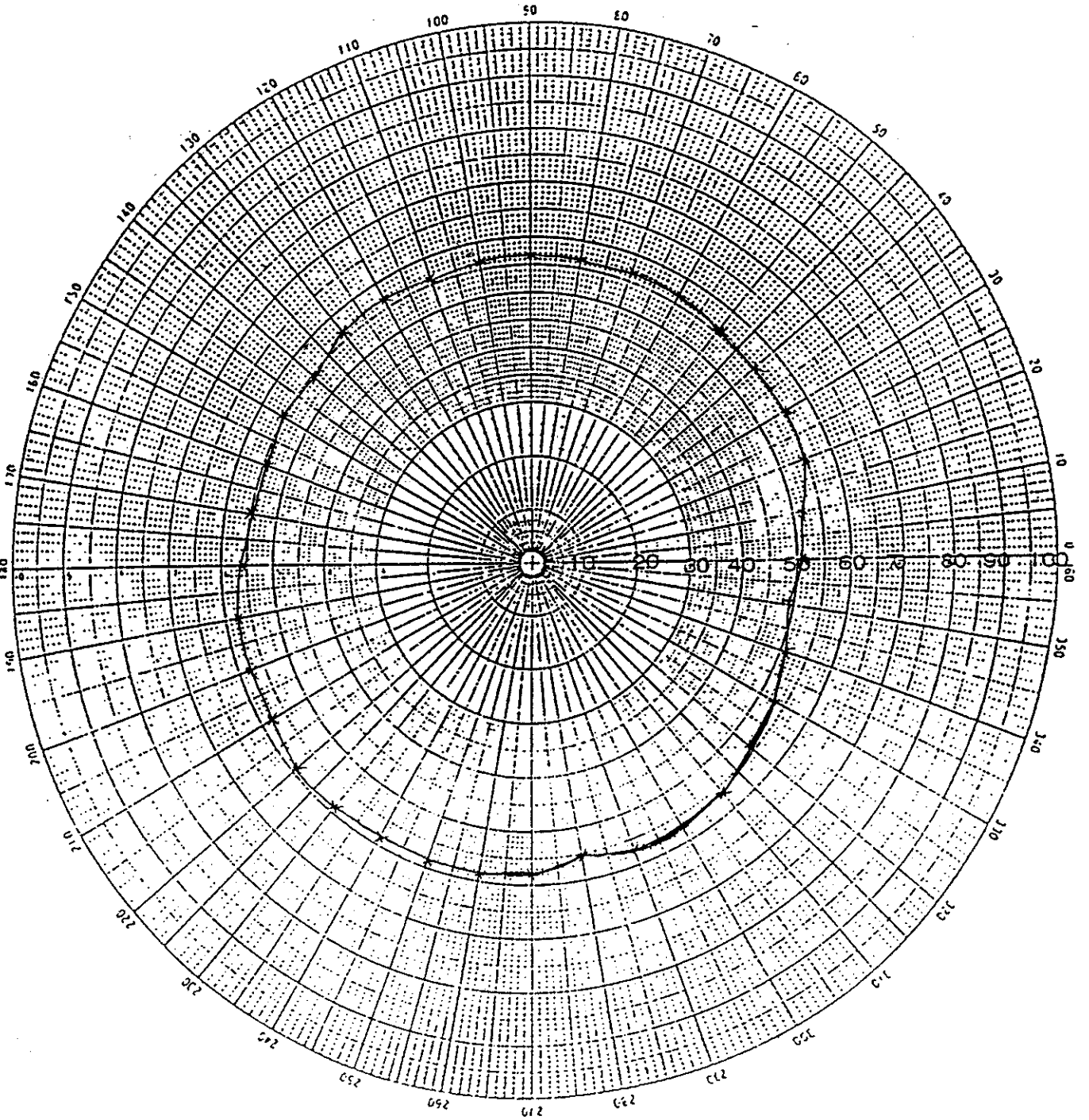
Height 1.62 m.

Measurement condition GOOD

Distance 4 m.

## ตารางที่ 6-5 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน™ ช่อง 5

มุม	dB $\mu$ v	มุม	dB $\mu$ v
0	51.1	180	55.1
10	52.6	190	56.2
20	54.6	200	57.3
30	55.4	210	58.3
40	55.4	220	59.1
50	55.8	230	59.3
60	56.5	240	59.0
70	56.8	250	59.0
80	56.6	260	58.8
90	56.6	270	58.9
100	56.4	280	55.2
110	56.1	290	57.7
120	56.6	300	56.8
130	56.2	310	55.9
140	54.5	320	54.3
150	55.5	330	53.2
160	54.4	340	51.5
170	54.6	350	49.7



รูปที่ 6.7 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทิวส์กรีน™ ช่อง 5

## ผลการทดสอบการวัดกระสวนการแผ่คลื่น

สายอากาศลิบทิศ™

Date/Time 19 ธ.ค.39 / 13.30 น.

Frequency 177.5 MHz (ช่อง 5)

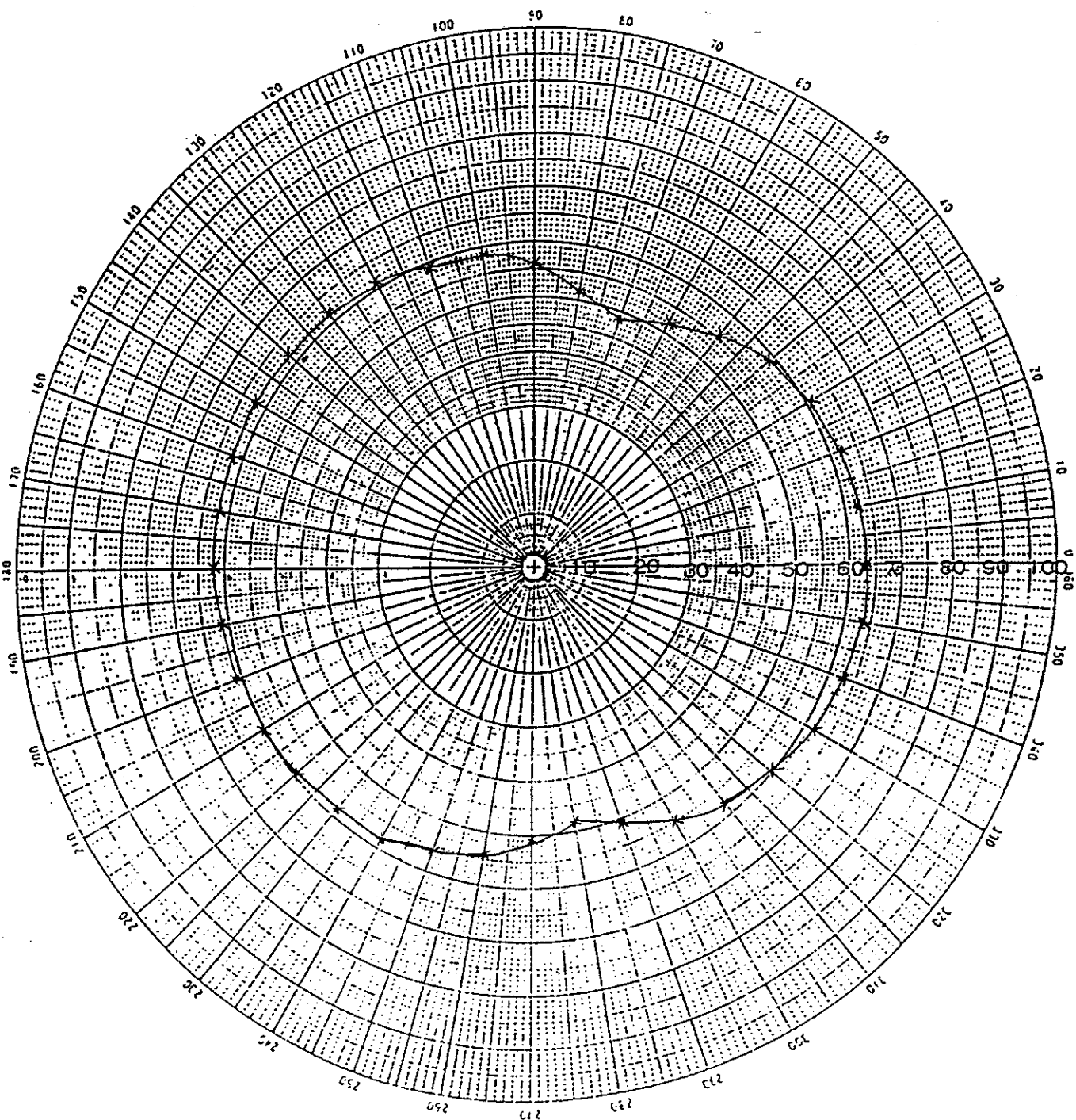
Height 1.62 m.

Measurement condition GOOD

Distance 4 m.

## ตารางที่ 6-6 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศลิบทิศ™ ช่อง 5

มุม	dB $\mu$ v	มุม	dB $\mu$ v
0	63.2	180	62.2
10	62.6	190	61.7
20	61.8	200	61.1
30	60.7	210	60.5
40	58.8	220	59.8
50	56.1	230	58.8
60	52.0	240	58.2
70	47.6	250	56.5
80	51.5	260	54.3
90	55.9	270	50.7
100	58.5	280	48.0
110	58.8	290	50.7
120	61.0	300	55.0
130	61.7	310	58.0
140	62.0	320	60.3
150	62.2	330	61.7
160	62.2	340	62.8
170	62.1	350	63.5



รูปที่ 6.8 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศสี่ทิศทาง<sup>TM</sup> ช่อง 5

## ผลการทดสอบการวัดกระสวนการแผ่คลื่น

สายอากาศยี่ห้อทีวีสกรีน™

Date/Time 13 พ.ค.39 / 15.00 น.

Frequency 191.5 MHz ( ช่อง 7 )

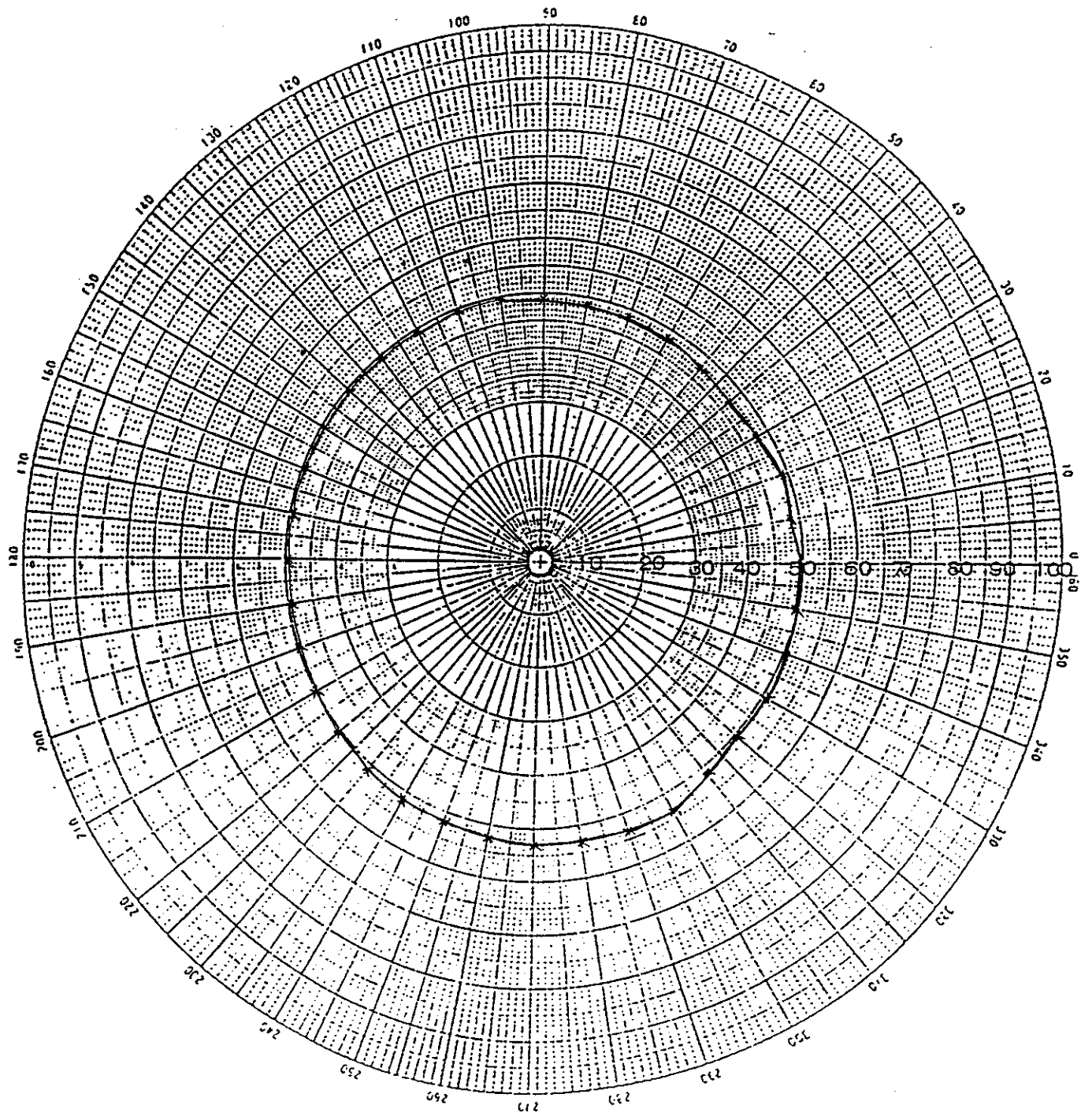
Height 1.62 m.

Measurement condition GOOD

Distance 4 m.

ตารางที่ 6-7 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน™ ช่อง 7

มุม	dB $\mu$ v	มุม	dB $\mu$ v
0	49.4	180	49.4
10	58.5	190	49.3
20	48.6	200	49.8
30	47.7	210	50.1
40	47.2	220	50.4
50	47.4	230	51.0
60	47.9	240	51.5
70	58.5	250	52.1
80	48.7	260	52.4
90	49.2	270	52.9
100	49.4	280	53.1
110	49.5	290	53.2
120	49.6	300	52.8
130	49.5	310	51.5
140	49.4	320	50.3
150	49.5	330	50.8
160	49.3	340	50.1
170	49.4	350	49.5



รูปที่ 6.9 แสดงกระบวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทิวสกรีน™ ช่อง 7

## ผลการทดสอบการวัดกระสวนการแผ่คลื่น

สายอากาศลิบทิศ™

Date/Time 13 ธ.ค.39 / 12.00 น.

Frequency 191.5 MHz ( ช่อง 7 )

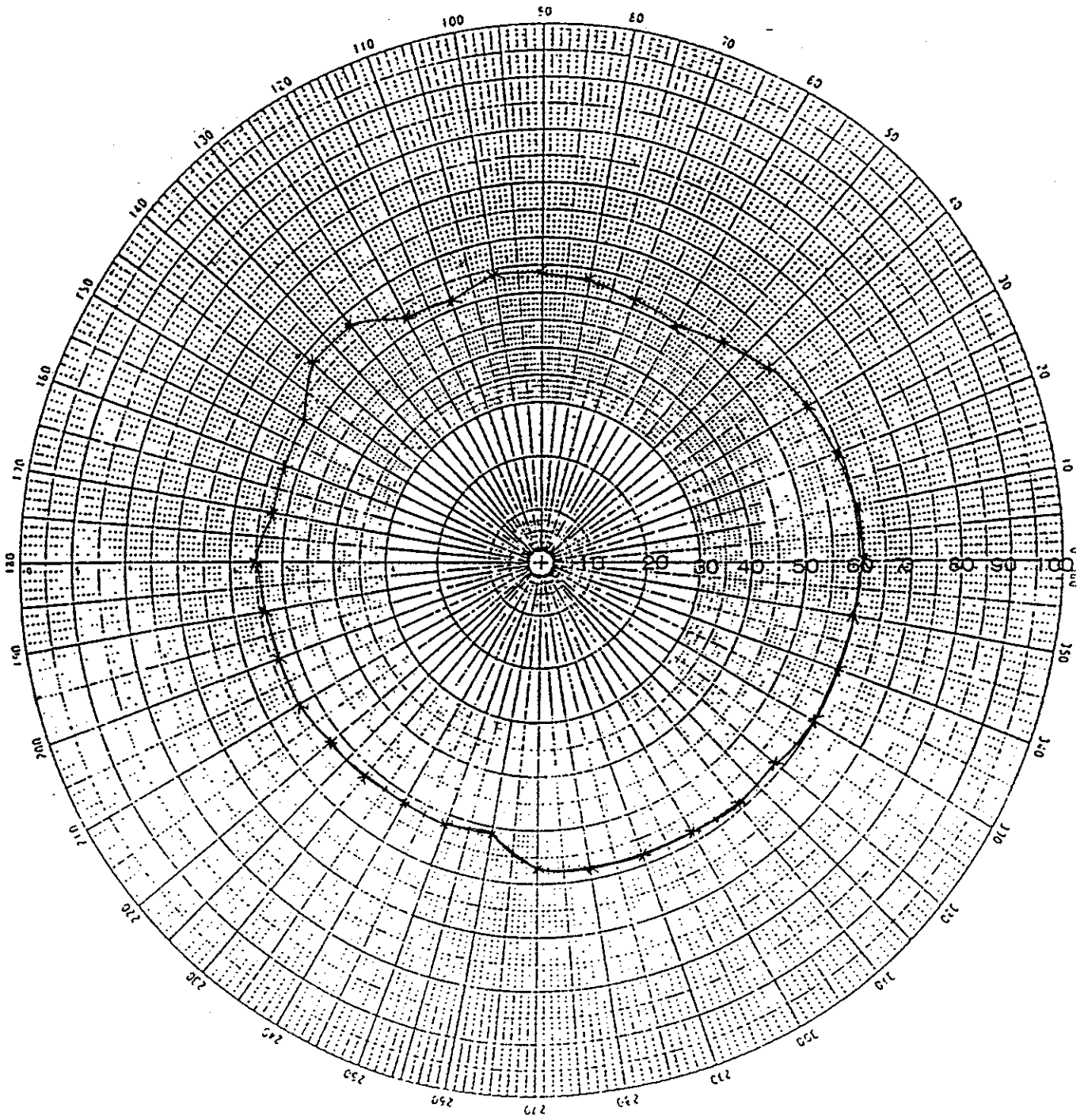
Height 1.62 m.

Measurement condition GOOD

Distance 4 m.

## ตารางที่ 6-8 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศลิบทิศ™ ช่อง 7

มุม	dB $\mu$ v	มุม	dB $\mu$ v
0	60.3	180	55.6
10	60.4	190	54.3
20	58.8	200	53.9
30	57.7	210	53.8
40	56.1	220	53.3
50	53.4	230	52.6
60	55.5	240	52.2
70	56.4	250	51.8
80	58.3	260	51.5
90	59.3	270	57.2
100	59.0	280	58.6
110	56.8	290	57.9
120	57.2	300	58.0
130	58.0	310	58.6
140	58.3	320	59.2
150	53.1	330	59.9
160	53.3	340	59.7
170	53.3	350	60.3



รูปที่ 6.10 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศสี่บิต<sup>TM</sup> ช่อง 7



### ผลการทดสอบการวัดกระสวนการแผ่คลื่น

สายอากาศทีวีสกรีน™

Date/Time 10 ก.พ. 40 / 14.00 น.

Frequency 205.5 MHz( ช่อง 9 )

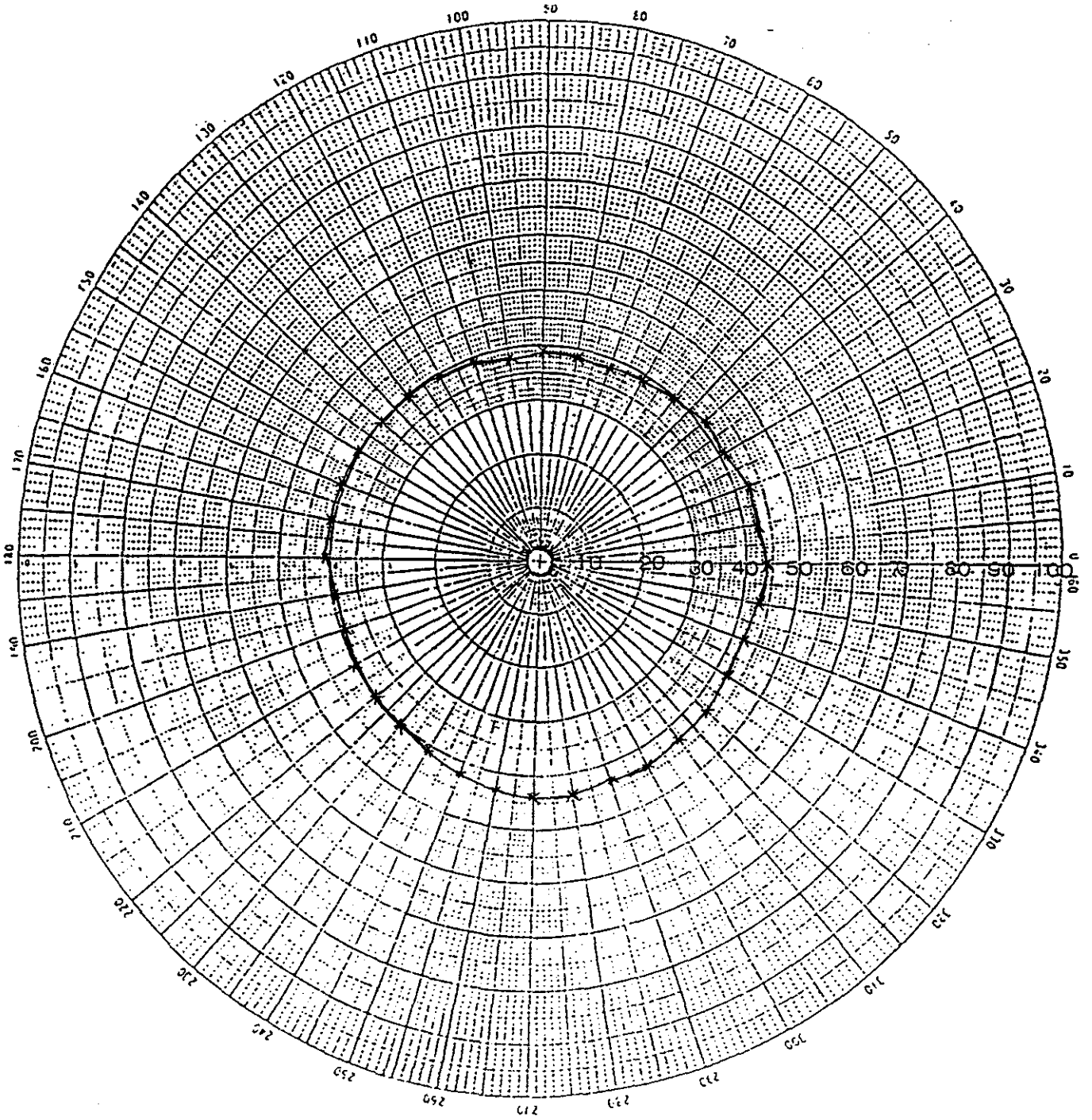
Height 1.62 m.

Measurement condition GOOD

Distance 4 m.

### ตารางที่ 6-9 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน™ ช่อง 9

มุม	dB $\mu$ v	มุม	dB $\mu$ v
0	43.6	180	40.8
10	42.6	190	39.5
20	42.5	200	39.3
30	40.7	210	39.7
40	41.3	220	39.7
50	39.6	230	40.1
60	38.8	240	41.2
70	38.0	250	42.2
80	38.0	260	43.1
90	38.8	270	43.8
100	38.3	280	43.9
110	38.8	290	42.9
120	39.3	300	43.5
130	39.5	310	42.9
140	40.0	320	42.6
150	40.3	330	42.5
160	40.7	340	42.4
170	40.7	350	43.4



รูปที่ 0.11 แสดงกระบวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทิวสกรีน™ ช่อง 9

### ผลการทดสอบการวัดกระสวนการแผ่คลื่น

สายอากาศเสียบทิศ<sup>TM</sup>

Date/Time 10 ก.พ. 40 / 11.30 น.

Frequency 205.5 MHz( ช่อง 9 )

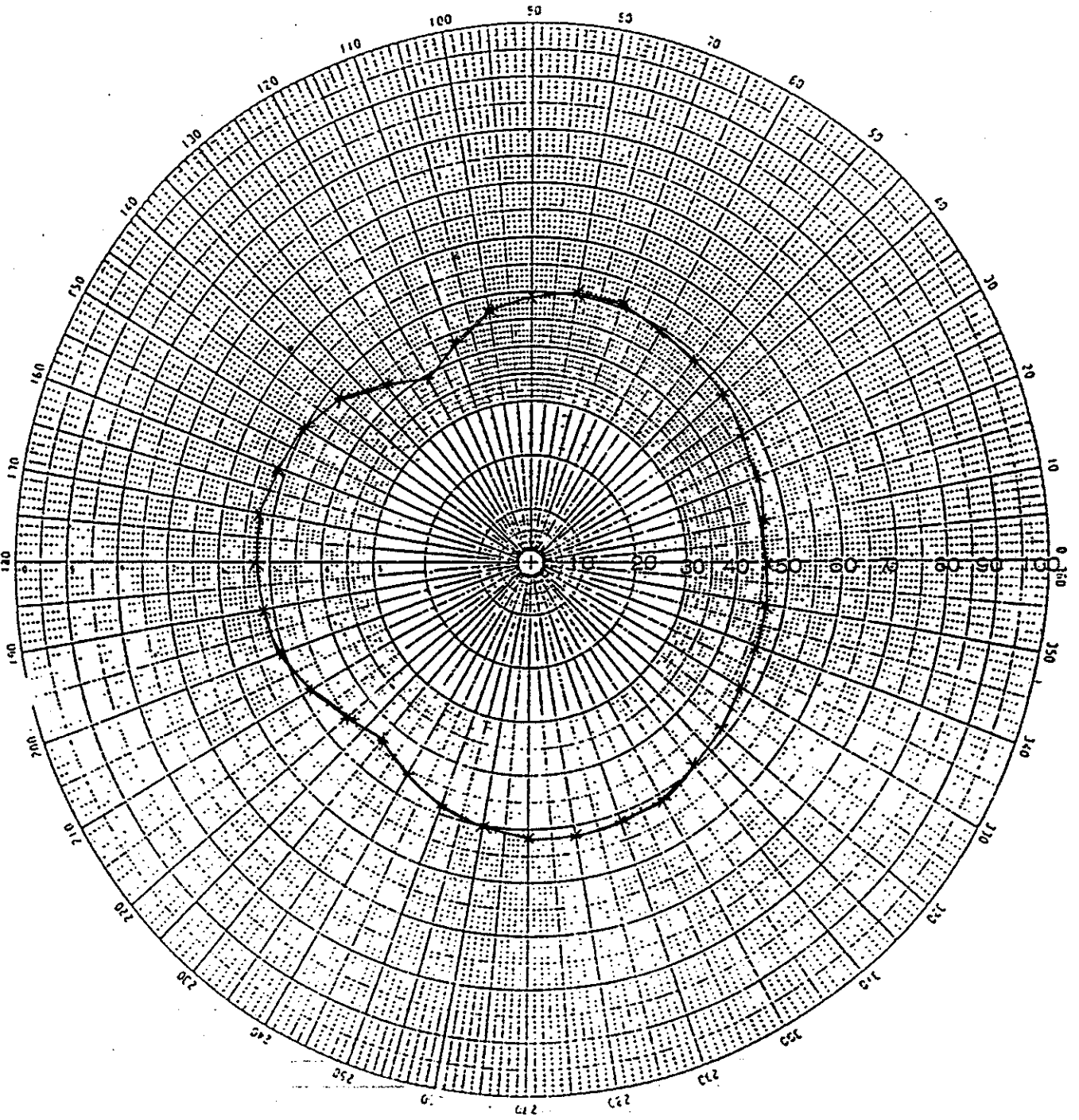
Height 1.62 m.

Measurement condition GOOD

Distance 4 m. .

ตารางที่ 6-10 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศเสียบทิศ<sup>TM</sup> ช่อง 9

มุม	dB $\mu$ v	มุม	dB $\mu$ v
0	45.8	180	52.8
10	45.4	190	52.1
20	46.4	200	50.5
30	47.0	210	48.2
40	47.9	220	45.4
50	48.8	230	43.8
60	49.8	240	45.8
70	50.5	250	48.6
80	50.1	260	50.1
90	49.2	270	51.5
100	47.4	280	51.6
110	43.5	290	51.3
120	39.7	300	50.8
130	43.1	310	49.5
140	47.5	320	48.3
150	50.0	330	47.2
160	51.8	340	46.7
170	52.8	350	46.4



รูปที่ 6.12 แสดงกระแสนการแผ่คลื่นของสายอากาศสี่บทิศ<sup>TM</sup> ช่อง 9

## ผลการทดสอบการวัดกระสวนการแผ่คลื่น

สายอากาศทีวีสกรีน™

Date/Time 12 ก.พ. 40 / 16.30 น.

Frequency 219.5 MHz ( ช่อง 11 )

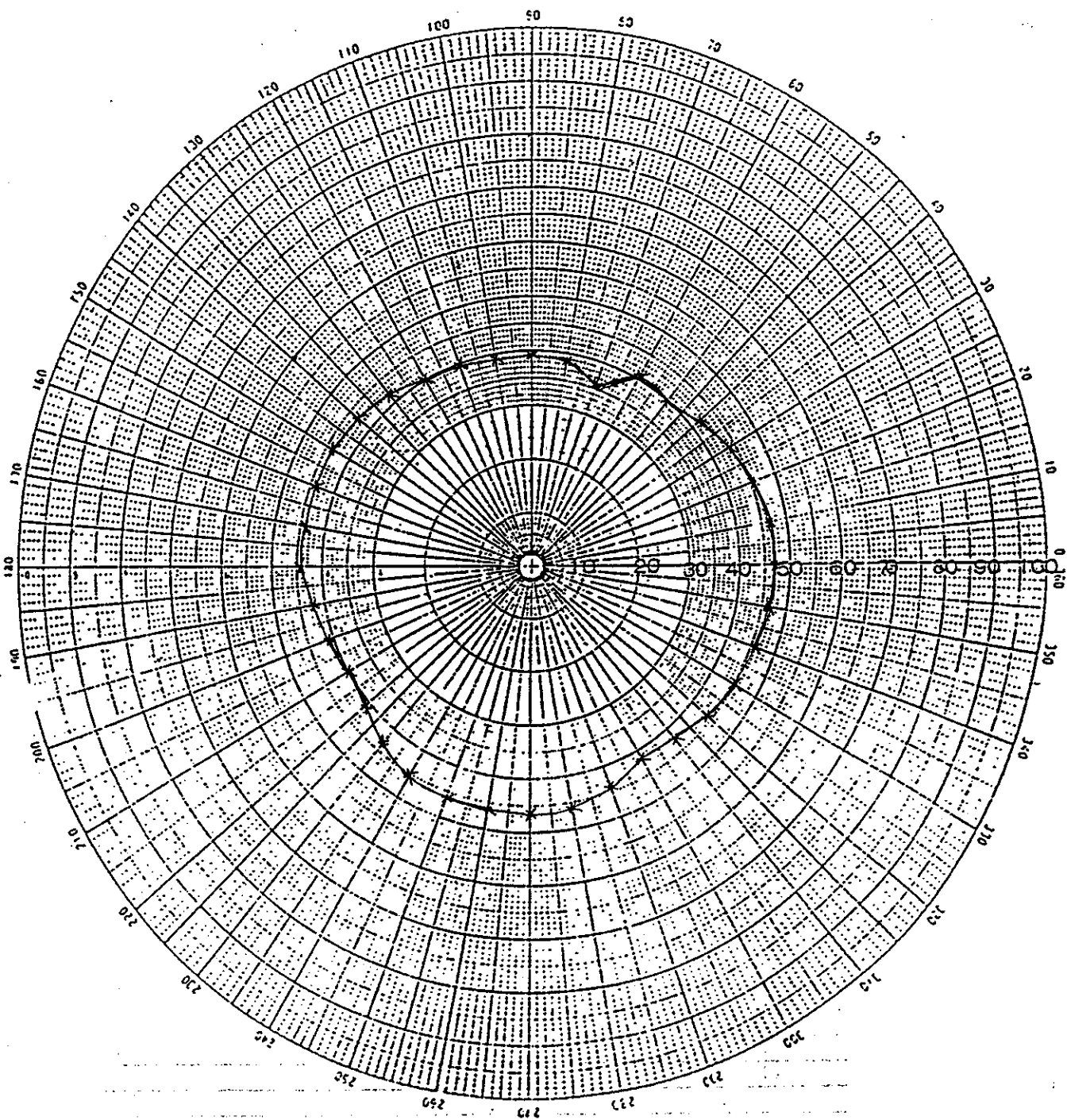
Height 1.62 m.

Measurement condition GOOD

Distance 4 m.

ตารางที่ 6-11 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน™ ช่อง 11

มุม	dB $\mu$ v	มุม	dB $\mu$ v
0	46.8	180	44.6
10	46.5	190	42.6
20	45.2	200	41.3
30	41.8	210	40.3
40	41.8	220	40.8
50	39.8	230	43.3
60	40.7	240	45.0
70	35.5	250	46.1
80	38.8	260	46.5
90	39.1	270	46.6
100	38.8	280	45.6
110	39.8	290	45.6
120	39.8	300	44.3
130	41.6	310	42.5
140	42.9	320	44.2
150	43.8	330	45.2
160	44.3	340	46.2
170	44.6	350	46.4



รูปที่ 6.18 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศที่วิสกกรีน™ ของ 11

### ผลการทดสอบการวัดกระสวนการแผ่คลื่น

สายอากาศสี่ทิศทาง™

Date/Time 12 ก.พ. 40 / 13.30 น.

Frequency 219.5 MHz( ช่อง 11 )

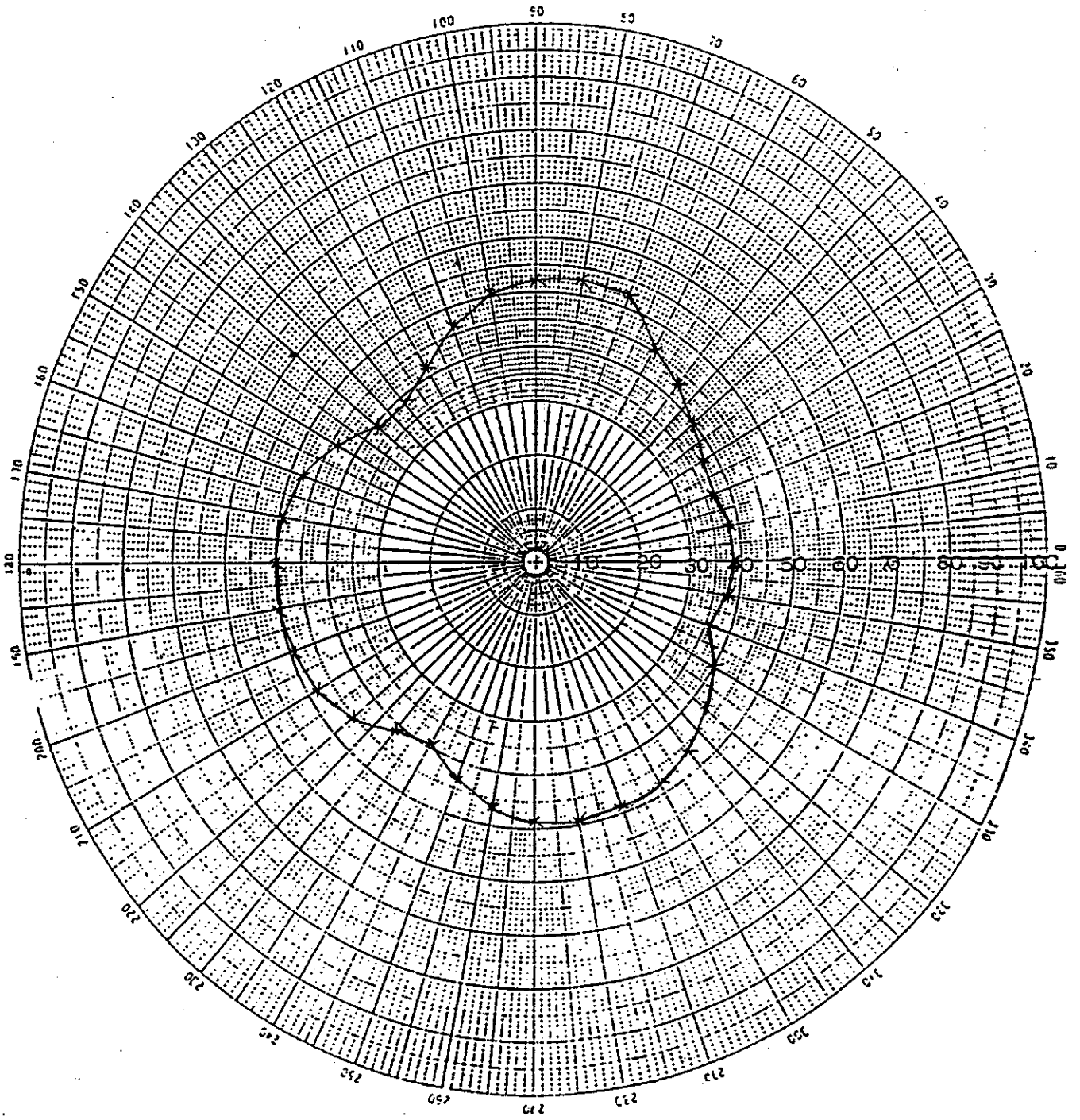
Height 1.62 m.

Measurement condition GOOD

Distance 4 m.

### ตารางที่ 6-12 การวัดกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศสี่ทิศทาง™ ช่อง 11

มุม	dB $\mu$ v	มุม	dB $\mu$ v
0	38.5	180	50.3
10	37.3	190	49.5
20	36.4	200	47.9
30	37.3	210	45.3
40	39.8	220	40.8
50	42.8	230	39.5
60	45.3	240	43.3
70	47.247.5	250	46.6
80	47.0	260	48.3
90	45.4	270	49.1
100	41.8	280	49.0
110	38.6	290	48.2
120	38.6	300	46.4
130	39.3	310	43.7
140	43.8	320	40.0
150	47.6	330	35.7
160	49.4	340	38.8
170	50.1	350	38.2



รูปที่ 6.14 แสดงกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศสิบทิศ<sup>TM</sup> ช่อง 11



#### 6.4 ผลการวัดอัตราขยายของสายอากาศทีวีสกรีน<sup>TM</sup> และสายอากาศลิบทิศ<sup>TM</sup> เทียบกับ สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น

จากการติดตั้งการทดลองดังรูป 5.7 และทำการทดลองคั้งหัวข้อ 5.4 การออกแบบการวัดอัตราขยายของสายอากาศในย่าน VHF จะได้ผลการทดลองคั้งตารางที่ 6-13 และตารางที่ 6-14 และนำไปคำนวณหาค่าอัตราขยายของสายอากาศทีวีสกรีน<sup>TM</sup> และสายอากาศลิบทิศ<sup>TM</sup> คั้งสมการที่ 6.1, 6.2 และ 6.3 โดยเทียบกับสายอากาศมาตรฐานที่เราใช้คือสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น ซึ่งจะได้ผลการทดลองคั้งตารางที่ 6-13 และ 6-14

#### ตารางที่ 6-13 ผลของระดับสัญญาณของสายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น

ช่องสถานี	ความถี่ (MHz)	ความยาวของสายอากาศไดโพล (m)	ระดับสัญญาณ (dB $\mu$ v)
3	57.5	247.8	72.2
5	177.5	80.3	65.5
7	191.5	74.58	64.0
9	205.5	69.34	59.7
11	219.5	64.92	57.0

#### ตารางที่ 6-14 ผลของระดับสัญญาณของสายอากาศทีวีสกรีน<sup>TM</sup> และสายอากาศลิบทิศ<sup>TM</sup>

ช่องสถานี	ความถี่ (MHz)	ระดับสัญญาณของสายอากาศทีวีสกรีน <sup>TM</sup> (dB $\mu$ v)	ระดับสัญญาณของสายอากาศลิบทิศ <sup>TM</sup> (dB $\mu$ v)
3	57.5	58.5	60.0
5	177.5	59.3	63.5
7	191.5	52.9	60.4
9	205.5	43.1	52.8
11	219.5	46.8	50.3

การคำนวณอัตราขยายของสายอากาศทีวีสกกรีน™ และสายอากาศสิบทิศ™ เทียบกับสายอากาศโคโพลคริ่งความยาวคลื่น

โวลเตจที่ขั้วของสายอากาศ

$$V \text{ (dB}\mu\text{v)} = 20 \log V \text{ (}\mu\text{v)} \quad (6.1)$$

อัตราขยายที่คิดโดยเปรียบเทียบกับสายอากาศโคโพลคริ่งความยาวคลื่น (relative gain, Gr)

$$Gr = 20 \log \frac{V}{V_o} \text{ dB} \quad (6.2)$$

โดยที่  $V$  = โวลเตจที่ขั้วของสายอากาศที่ต้องการรู้ค่าอัตราขยาย

$V_o$  = โวลเตจที่ขั้วของสายอากาศโคโพลคริ่งความยาวคลื่น

อัตราขยายสัมบูรณ์ (absolute gain, Ga) โดยอัตราขยายของสายอากาศจะสูงขึ้นอีก 2.15 dB สายอากาศโคโพลคริ่งความยาวคลื่น เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุดจะมีอัตราขยาย 2.15 dB นั่นคือ

$$Ga = Gr + 2.15 \text{ dB} \quad (6.3)$$

ตารางแสดงค่าที่ได้จากการคำนวณตามสูตรข้างต้น

ตารางที่ 6-15 อัตราขยายของสายอากาศทีวีสกกรีน™

ช่องสถานี	V (μv)	V <sub>o</sub> (μv)	Gr (dB)	Ga (dB)
3	841.4	4073.8	-13.7	-11.5
5	922.6	1883.6	-6.2	-4.1
7	441.6	1584.9	-11.1	-8.9
9	154.9	966.1	-15.9	-13.75
11	218.8	707.9	-10.2	-8.0

ตารางที่ 6-16 อัตราขยายของสายอากาศลิบทิศ™

ช่องสถานี	V ( $\mu$ v )	Vo ( $\mu$ v )	Gr ( dB )	Ga ( dB )
3	1000	4073.8	-12.2	-10.1
5	1496.2	1883.6	-1.9	0.2
7	1047.1	1584.9	-3.6	-1.4
9	436.5	966.1	-6.9	-4.8
11	327.3	707.9	-6.7	-4.5

จากผลการทดลองการวัดอัตราขยายของสายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศลิบทิศ™ เทียบกับสายอากาศโคโพลคริ่งความยาวคลื่น จะมีอัตราขยายน้อยมากหรือคิดลบทำให้ทราบว่าสายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศลิบทิศ™ มีอัตราขยายต่ำกว่าสายอากาศโคโพลคริ่งความยาวคลื่น 1 อีลีเมนต์

### 6.5 สรุป

จากผลการทดลองการวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศทีวีสกรีน™ จะมีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม ซึ่งแมทช์ระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณที่ต่อเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ที่ความถี่ 160 เมกะเฮิร์ต ส่วนสายอากาศลิบทิศ™ จะมีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม ซึ่งแมทช์ระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณที่ต่อเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ที่ความถี่ 150 เมกะเฮิร์ต ซึ่งแสดงว่าสายอากาศทีวีสกรีน™ จะใช้งานได้ดีในความถี่ 160 เมกะเฮิร์ต และสายอากาศลิบทิศ™ จะใช้งานได้ดีในความถี่ 150 เมกะเฮิร์ต เพราะจะไม่ทำให้เกิดการสะท้อนกลับของกำลังมายังเครื่องรับโทรทัศน์ซึ่งจะทำให้อัตราขยายของสายอากาศลดต่ำกว่าเท่าที่ควรและจะทำให้อุปกรณ์ส่วนหน้าของเครื่องรับโทรทัศน์มีอายุการใช้งานสั้นลง สำหรับผลการทดลองการวัดกระแสการแผ่คลื่นของสายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศลิบทิศ™ จะทราบว่าสายอากาศทั้งสองนี้สามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้รอบตัวจริง และจากผลการทดลองการวัดอัตราขยายของสายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศลิบทิศ™ เทียบกับสายอากาศโคโพลคริ่งความยาวคลื่นจะมีอัตราขยายน้อยมากหรือคิดลบทำให้ทราบว่าสายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศลิบทิศ™ มีอัตราขยายต่ำกว่าสายอากาศโคโพลคริ่งความยาวคลื่น 1 อีลีเมนต์

หลังจากที่เราทราบผลการทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศทีวีสกรีน™ และสายอากาศลิบทิศ™ เหล่านี้แล้ว ทำให้เราสามารถตัดสินใจเลือกใช้สายอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งานได้

## บทที่ 7

### สรุปผลการทดลอง

#### 7.1 สรุปผลการทดลอง

1) จากตารางที่ 6-1 และตารางที่ 6-2 ผลการทดลองหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่วีสกรีน™ และสายอากาศลิปทิส™ จากกราฟแสดงค่าความถี่ที่มีผลต่อ Resistance และ Reactance โดยช่วงความถี่ต่ำจะมีค่า Resistance และ Reactance มาก ส่วนช่วงค่าความถี่สูงขึ้นไปจะมีค่า Resistance และ Reactance ต่ำลง ซึ่งจะมีผลต่อเครื่องรับโทรทัศน์ เพราะอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่วีสกรีน™ และสายอากาศลิปทิส™ นี้ไม่ใช่ 75 โอห์ม ตลอดจนการใช้งานทุกความถี่ซึ่งจะทำให้อัตราขยายของสายอากาศลดลงต่ำกว่าที่ควรและจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของกำลังมายังเครื่องรับโทรทัศน์ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ส่วนหน้า (Front end) ของเครื่องรับโทรทัศน์มีอายุการใช้งานสั้นลงได้

2) จากตารางที่ 6-1 และตารางที่ 6-2 สายอากาศที่วีสกรีน™ จะมีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม ซึ่งเหมาะสมกับเครื่องรับโทรทัศน์ที่ความถี่ 160 เมกะเฮิร์ต ซึ่งอยู่ระหว่างช่อง 3 กับช่อง 5 สำหรับสายอากาศลิปทิส™ จะมีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม ในช่วงความถี่ 150 เมกะเฮิร์ต ซึ่งตรงกับช่องสถานีช่อง 3 กับ ช่อง 5

3) จากตารางที่ 6-3 ถึงตารางที่ 6-12 จะได้รูปกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศที่วีสกรีน™ จะมีลักษณะเป็นวงกลม ซึ่งแสดงว่าสามารถรับคลื่นได้รอบตัว แต่จะมีทิศทางการรับคลื่นได้ดีที่มุม 0 และ 180 องศา

4) จากตารางที่ 6.3 ถึงตารางที่ 6-12 จะได้รูปกระสวนการแผ่คลื่นของสายอากาศลิปทิส™ จะมีลักษณะเป็นวงกลมบิดเบี้ยวเป็นบางส่วน ซึ่งแสดงว่าสายอากาศลิปทิส™ สามารถรับสัญญาณคลื่นได้รอบตัว แต่ในการทดลองเมื่อความถี่สูงขึ้นไปรูปกระสวนการแผ่คลื่นจะมีลักษณะบิดเบี้ยวไม่เป็นลักษณะรอบตัวได้ชัดเจนเหมือนในช่วงความถี่ต่ำ

5) จากตารางที่ 6-13 ถึงตารางที่ 6-16 อัตราขยายของสายอากาศที่วีสกรีน™ และสายอากาศลิปทิส™ จะมีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับสายอากาศโคโพลีความยาวคลื่น ค่าอัตราขยายของสายอากาศจะดีกลับหรือมีค่าน้อยมากทำให้ทราบว่าสายอากาศที่วีสกรีน™ และสายอากาศลิปทิส™ มีค่าอัตราขยายต่ำกว่าสายอากาศโคโพลีความยาวคลื่น 1 อีลีเมนต์

6) จากการทดลองวัดคุณสมบัติของสายอากาศที่วีสกรีน™ และสายอากาศลิปทิส™ ทำให้ทราบว่าสายอากาศทั้งสองชนิดนี้จะสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้รอบตัวจริงแต่คุณสมบัติเกี่ยว

กับอิมพีแคนซ์และอัตราขยายจะใช้ในการรับสัญญาณคลื่นโทรทัศน์ได้ดีในบางช่วงเท่านั้น ไม่สามารถใช้งานได้ดีในทุกความถี่

## 7.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองหาค่ากระแสสวนการแผ่คลื่นจะต้องควบคุมตัวแปรหลายอย่าง เช่น ลม, อากาศ, สภาวะแวดล้อม, สิ่งก่อสร้าง ฯ เพราะต่างมีผลกระทบต่อกระแสสวนการแผ่คลื่น ดังนั้นเราจะต้องเลือกทดลองในสภาวะแวดล้อมที่ดี ในที่โล่งกว้าง ไม่มีลม อากาศท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีสิ่งก่อสร้างรอบข้างเพื่อป้องกันการสะท้อน

## 7.3 ข้อควรแก้ไขและการพัฒนา

- 1) ควรศึกษาผลกระทบต่างๆ ที่จะมีผลต่อสายอากาศในการรับคลื่นให้มากขึ้น
- 2) สายอากาศส่งเพื่อให้ได้ค่าสภาพทิศทางเพิ่มขึ้น จะต้องเพิ่มจำนวนอีลีเมนต์ของสายอากาศส่งให้มากขึ้น
- 3) ถ้าต้องการทราบคุณสมบัติจริงของสายอากาศทีวีสกกรีน<sup>TM</sup> และสายอากาศสลิปทิส<sup>TM</sup> ควรทำการทดลองในห้องไร้การสะท้อนคลื่นซึ่งต้องลงทุนสูง
- 4) ถ้าต้องการทราบว่าสายอากาศทีวีสกกรีน<sup>TM</sup> และสายอากาศสลิปทิส<sup>TM</sup> จะใช้งานในการรับสัญญาณโทรทัศน์ได้จริงหรือไม่จะต้องทำการทดลองวัดในสภาวะแวดล้อมที่จะติดตั้งใช้งานจริง ซึ่งจะต้องควบคุมตัวแปรหลายอย่าง

ภาคผนวก ก.

ตารางที่ ก-1 ช่องสถานีส่งและความถี่ของช่องต่างๆ (สถานีส่งที่กรุงเทพฯ)

ช่องสถานี	ความถี่ของสถานี
3	57.50
5	177.50
7	191.50
9	205.50
11	219.50

ตารางที่ ก-2 ช่องสถานีส่งและความถี่ของช่องต่างๆ (สถานีส่งที่จังหวัดนครราชสีมา)

ช่องสถานีที่ใช้เรียก	ช่องสถานีที่ใช้	ความถี่ของสถานี
3	2	48.25
5	8	196.25
7	12	224.25
9	10	210.25
11	6	182.25

ที่สถานีกรุงเทพจะมี

$$\begin{aligned}
 \text{Center frequency} &= \frac{\text{ความถี่ช่อง 11} + \text{ความถี่ช่อง 3}}{2} \\
 &= \frac{217.25 + 55.25}{2} \\
 &= 136.25 \quad \text{MHz}
 \end{aligned}$$

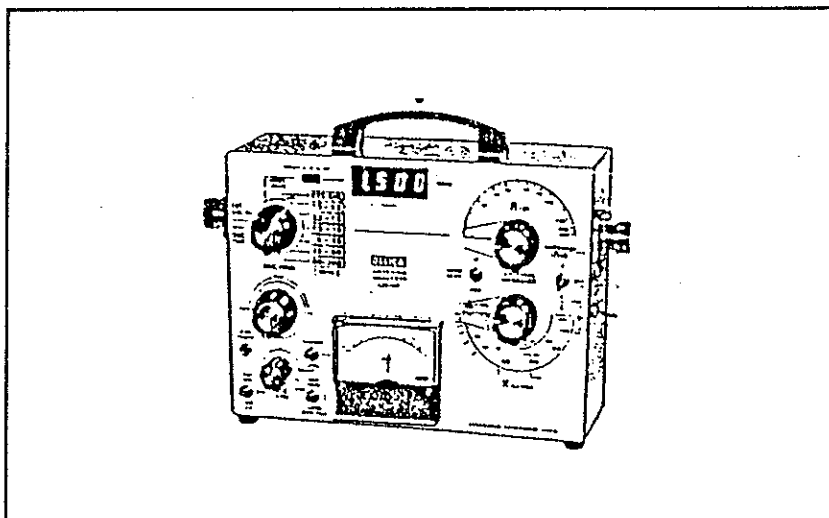
ถ้าไม่รวมสถานี ช่อง 3

$$\begin{aligned}\text{Center frequency} &= \frac{\text{ความถี่ช่อง 11} + \text{ความถี่ช่อง 5}}{2} \\ &= \frac{217.25 + 1075.25}{2} \\ &= 151.25 \quad \text{MHz}\end{aligned}$$

ภาคผนวก ข.  
เครื่องมือวิเคราะห์สายอากาศ  
ANTENNA ANALYZER

การแมตช์อิมพีแดนซ์ระหว่างเอาต์พุตของเครื่องส่งกับอินพุตของสายอากาศ โดยผ่านทางสายนำสัญญาณนั้นถือว่ามีควมสำคัญอย่างมาก เพราะจะทำให้สายอากาศแผ่กระจายคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าเกิดสภาพมิสมแมตช์ (Mismatch) ขึ้นระหว่างสายอากาศและสายนำสัญญาณ สิ่งที่เกิดขึ้นคือ จะมีกำลังงานส่วนหนึ่งวิ่งสะท้อนกลับเข้ามาหาตัวเครื่องส่ง ซึ่งจะทำให้เกิด Standing Wave บนสายนำสัญญาณและมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศลดลง

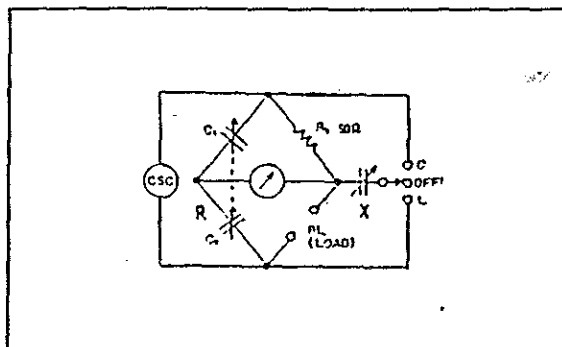
เครื่องมือวิเคราะห์สายอากาศ (Antenna Analyzer) ซึ่งทางห้องปฏิบัติการวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลือกใช้นั้น เป็นแบบกระเป๋าหิ้วขนาดเล็ก DELICA™ รุ่น AZI-HF เป็นผลิตภัณฑ์จากญี่ปุ่น สามารถวิเคราะห์สายอากาศตั้งแต่ความถี่ 1.5-200 เมกะเฮิร์ต ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้กันมากในประเทศไทย



รูปที่ 7.1 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์สายอากาศ DELICA™ รุ่น AZI-HF

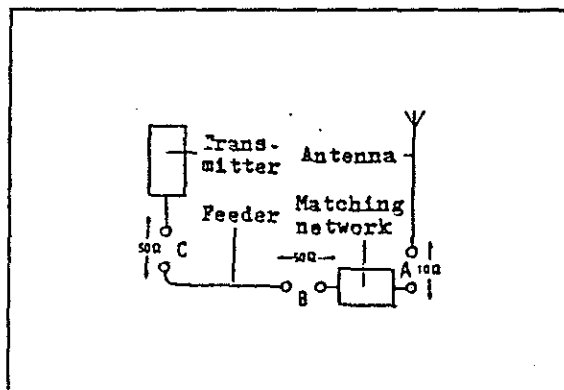
DELICA รุ่น AZI-HF ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้วัดค่าองค์ประกอบของอิมพีแดนซ์ (Z) ในรูปของ Reactive ( $R + jX$ ) ของสายอากาศ โดยออกแบบวงจรภายในให้เป็นแบบบริดจ์ ซึ่งใช้งานในย่านความถี่วิทยุ (Radio Frequency Bridge) ตามรูปที่ 7.2





รูปที่ 7.2 แสดงวงจร Radio Frequency Bridge

สัญญาณ RF จะถูกจ่ายโดยวงจรออสซิลเลเตอร์แบบปรับค่าได้ซึ่งอยู่ภายใน โดยจะแสดงผลค่าของความถี่ออกจาก Frequency Counter ขนาด 4 หลัก และภายในเครื่องวัดยังได้จัดวงจรสำหรับปรับค่า  $X$  ( $X_C, X_L$ ) เพื่อใช้สำหรับชดเชยค่ารีแอกแตนซ์ตรงข้ามที่เกิดขึ้นในสายอากาศ ทำให้เกิดการหักล้างกันของค่า  $X_L$  กับ  $X_C$  และเหลือเฉพาะค่า  $R$  ก็จะได้คำตอบของค่าอิมพีแดนซ์จริงของสายอากาศที่กำลังทำการวัดนั้น



รูปที่ 7.3 แสดงองค์ประกอบของระบบเครื่องส่ง

ในรูปที่ 7.3 เป็นองค์ประกอบของระบบเครื่องส่ง ซึ่งประกอบไปด้วยตัวเครื่องส่ง (Transmitter) สายนำสัญญาณ (Feeder) โครงข่ายการแมชท์ (Match Network) และตัวสายอากาศ (Antenna) จากรูปที่ 7.3 นี้ อิมพีแดนซ์ของสายอากาศมีเพียง 10 โอห์ม โครงข่ายที่ใช้ในการแมชท์ จะต้องเปลี่ยนค่าอิมพีแดนซ์จาก 10 โอห์ม ไปเป็น 50 โอห์ม จึงจะทำให้อินพุตอิมพีแดนซ์เมื่อมองจากจุด C ไปยังสายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ด้วย

ในการวัดความถี่เรโซแนนท์ของสายอากาศ ( $f_0$ ) จะต้องปรับที่ปุ่ม R ของเครื่องวัดไปที่ 50 โอห์ม และปรับที่ปุ่ม X อยู่ที่ค่าต่ำสุด ปรับปุ่ม OSC. FREQ ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ความถี่

ตามที่ต้องการใช้งาน (เข็มของมิเตอร์ DIP ลง) จากนั้นค่อยๆ ปรับปุ่ม R จนกระทั่งเข็มของมิเตอร์ชี้ที่ตำแหน่งต่ำสุด ซึ่งความถี่ที่แสดงผลอยู่ในขณะนี้ก็คือค่าอิมพีแดนซ์ประมาณ 50 โอห์ม

ส่วนกรณีที่ต้องการวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ณ ที่ความถี่ใดความถี่หนึ่ง จะต้องปรับความถี่ของวงจรรอสซิติลเลเตอร์ (ปุ่ม OSC. FREQ) ให้คงที่ ณ ความถี่นั้น จากนั้นให้ปรับปุ่ม R และ X จนกระทั่งเข็มของมิเตอร์ตก (DIP) ลงไปที่ตำแหน่งต่ำสุด หรือตำแหน่งที่เข็มไม่เคลื่อนขึ้นมาเลยตำแหน่งของปุ่ม R และ X จะเป็นตัวแสดงค่า Resistive และ Reactive ซึ่งเป็นองค์ประกอบของค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่จุดอินพุทของสายนำสัญญาณในขณะนั้นนั่นเอง (ที่จุด C ในรูปที่ 7.3) และถ้าเรากำหนดความยาวทางไฟฟ้าของสายนำสัญญาณให้มีความยาวลงตัวที่ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ของความถี่ที่ดึงเอาไว้ ตำแหน่งของ R และ X ที่ปรับเอาไว้ จะแสดงค่าอิมพีแดนซ์ที่แท้จริงของสายอากาศ ณ ที่จุดป้อนสัญญาณของสายอากาศเอง (ที่จุด B ในรูปที่ 7.3) และเมื่อปรับสายอากาศและอุปกรณ์ส่วนที่เป็นแมตซ์ซึ่งให้มีค่า  $R = 50$  โอห์มแล้ว X จะมีค่าเท่ากับ 0 ณ ที่ความถี่ที่เลือกใช้งานทันที

นอกจากนี้เครื่องวิเคราะห์สายอากาศรุ่นนี้ ยังสามารถใช้ตรวจสอบค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย ( $Z_0$ ) แฟคเตอร์ความเร็ว (Velocity Factor, VF) และความยาวครึ่งคลื่นทางไฟฟ้าของสายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียล นอกจากนั้นยังสามารถทำหน้าที่เป็น Signal Generator แบบ Wide Band เพื่อใช้ในการผลิตสัญญาณที่มีความถี่มาตรฐาน เพื่อใช้ในการปรับจูนเครื่องรับทางอิเล็กทรอนิกส์หรือทางโทรคมนาคม

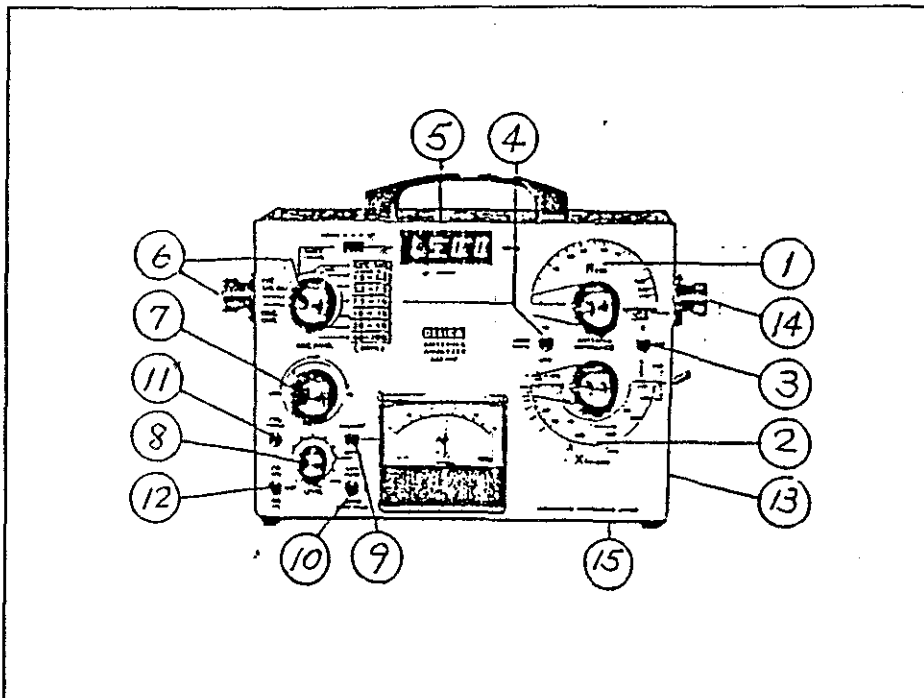
หน้าที่พิเศษนอกเหนือที่กล่าวมาแล้ว เครื่องวิเคราะห์สายอากาศรุ่นนี้ยังสามารถทำหน้าที่เป็น Frequency Counter สำหรับวัดความถี่ของสัญญาณจากแหล่งอื่นภายนอกที่เราไม่ทราบค่าทั้งแบบวัดโดยตรงและวัดโดยการผสมสัญญาณภายนอกเข้ากับสัญญาณที่ผลิตจากออสซิลเลเตอร์ภายในเครื่องเหมือนกับใน Frequency Counter แบบ Heterodyne

หน้าที่สุดท้ายที่เครื่องวิเคราะห์สายอากาศสามารถกระทำได้ก็คือ สามารถทำหน้าที่เป็นเครื่องรับสัญญาณที่ได้จากการแผ่คลื่นของสายอากาศของเครื่องส่งเครื่องอื่นๆ ซึ่งหน้าที่แบบนี้เราจะต้องสร้างสายอากาศแบบรูปขนาดที่เหมาะสมมาประกอบเข้ากับเครื่องมือวัดนี้ด้วย เมื่อเรานำค่าที่ได้จากมิเตอร์ซึ่งเหมือนกับ Field Strength มาพล็อตแพทเทิร์น จะทำให้เราได้ Radiation Pattern ของสายอากาศที่เราต้องการจะวัดทันที

## 1. หน้าที่ในแต่ละส่วนของเครื่องวิเคราะห์สายอากาศ

- 1) Dial R ใช้แสดงค่าองค์ประกอบ Resistive ของอิมพีแดนซ์สายอากาศ

2) Dial X ใช้แสดงค่าองค์ประกอบ Reactive ของอิมพีแดนซ์สายอากาศ โดยสามารถเลือกย่านของ X ว่าจะใช้งานในช่วงความถี่ HF หรือ VHF ด้วยสวิตช์ที่อยู่ด้านข้าง



รูปที่ 7.4 แสดงส่วนต่างๆ ของเครื่องวิเคราะห์สายอากาศ DELICA<sup>TM</sup> รุ่น AZI-HF

3) C-L เป็นสวิตช์สำหรับเลือกค่า Reactance ว่าจะเป็น XC หรือ XL (Capacitive or Inductive Reactance)

4) METER SENS สวิตช์เลือกความไว (Sensitivity) ของเครื่องวัด

5) FREQ. COUNTER เป็นตัวเลขดิจิทัล 4 หลัก สำหรับใช้แสดงความถี่ที่วัดจากวงจรภายในหรือจากแหล่งจ่ายภายนอก โดยมีสวิตช์ DOWN-UP สำหรับเลื่อนจุดทศนิยม

6) OSC. FREQ เป็นสวิตช์แบบหมุน (Rotary Switch) สำหรับเลือกย่านความถี่ของออสซิลเลเตอร์ที่ต้องการ ในกรณีที่จะวัดความถี่ของสัญญาณจากภายนอก สวิตช์นี้จะปรับไปที่ตำแหน่ง DIRECT COUNT โดยสัญญาณที่จะวัดจะถูกป้อนเข้ามาทางขั้ว EXT.SIG.IN และถ้าสัญญาณที่จะวัดมีระดับที่ต่ำมากๆ เราสามารถนำสัญญาณนี้ผสมเข้ากับสัญญาณจากออสซิลเลเตอร์ภายใน โดยการหมุนปุ่มนี้ไปที่ตำแหน่ง MIX ซึ่งขณะนี้เครื่องวัดจะทำหน้าที่เป็น Frequency Meter แบบ Heterodyne และสัญญาณที่เกิดจากวงจรออสซิลเลเตอร์ภายในสามารถนำออกไปใช้งานภายนอกได้ทางขั้ว OSC.OUT เหมือนกับเป็น Signal Generator

7) OSC.FREQ.FINE ใช้สำหรับปรับหาความถี่ที่เกิดจากออสซิลเลเตอร์ภายในเครื่องวัด ซึ่งสอดคล้องกับย่านต่างๆ ตามที่ปุ่มสวิทช์แบบหมุนที่เลือกเอาไว้

8) OSC.LEVEL ใช้ปรับระดับของสัญญาณความถี่ที่ผลิตจากวงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

9) BALANCE-LEVEL เป็นสวิทช์สำหรับเลือกหน้าที่ของมิเตอร์แบบเข็มให้ทำหน้าที่เป็น Bridge's Null Detector หรือ LEVEL Meter

10) BATT.CHECK เป็นสวิทช์สำหรับตรวจสอบระดับแรงดันของแบตเตอรี่ในขณะที่ Power ON (ขณะที่เครื่องทำงาน) ถ้าเข็มมิเตอร์ชี้ที่ตำแหน่งที่ต่ำกว่า 35 UA จะต้องรีบเปลี่ยนแบตเตอรี่ทันที เพราะถ้านำไปใช้งานต่อ ค่าต่างๆที่วัดได้จะผิดพลาดมาก

11) XTAL PHONE เมื่อเครื่องวัดนี้ถูกนำมาใช้งานเป็น Heterodyne Frequency Meter เราสามารถเช็คสัญญาณ Zero-beat โดยฟังจากหูฟังแบบ Crystal ที่เราเสียบลงไป

12) POWER ตำแหน่งกลางของสวิทช์เครื่องจะหยุด (OFF) ทำงาน และทำงาน (ON) เมื่อสวิทช์สับไปที่ AM หรือ CW และจะใช้ในโหมด AM หรือ CW และจะใช้ในโหมด AM ก็ต่อเมื่อใช้เครื่องวัดนี้เป็น Test Oscillator เท่านั้น

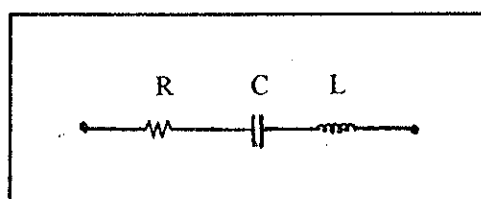
13) EXT.DC9V ช่องอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 9 V จากแหล่งจ่ายภายนอก

14) ANTENNA LOAD เป็นขั้วสำหรับต่อเข้ากับสายนำสัญญาณ (Feeder) ที่ต่ออยู่กับสายอากาศหรือสำหรับต่อ Dummy Load 50 โอห์ม สำหรับทดสอบการทำงานของเครื่องวัด

15) BATTERY CONTAINER ช่องใส่แบตเตอรี่ อยู่ด้านล่างของเครื่อง

## 2. การใช้เครื่องวิเคราะห์สายอากาศวัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ

สายอากาศทุกชนิดสามารถพิจารณาอยู่ในรูปของวงจรเรโซแนนซ์ RLC แบบอนุกรมตามรูปที่ 7.5 การแมตซ์ที่ดีที่สุดก็คือ สายอากาศจะต้องถูกปรับแต่งให้เรโซแนนซ์ที่ความถี่ที่ต้องการให้มากที่สุดและค่า L และค่า C จะถูกกำจัดทิ้งให้หมด และค่า R ที่ยังคงมีอยู่จะต้องแมตซ์กันกับค่าอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณอย่างพอดี



รูปที่ 7.5 แสดงวงจรเรโซแนนซ์ RLC

## 2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- |                               |   |         |
|-------------------------------|---|---------|
| 1) Antenna Analyzer           | 1 | เครื่อง |
| 2) สายอากาศย่านที่ต้องการวัด  | 1 | คัน     |
| 3) เครื่องมือปรับแต่งสายอากาศ | 1 | ชุด     |

## 2.2 ขั้นตอนการปฏิบัติ

### ก. วัดค่าอิมพีแดนซ์โดยการสวิตช์ความถี่ของออสซิลเลเตอร์

- 1) ปรับปุ่มต่างๆ บนเครื่องวิเคราะห์สายอากาศตามที่กำหนดต่อไปนี้

- . OSC.FREQ. -ปรับความถี่ที่ต้องการ
- . FINE -ปรับไว้ที่ตำแหน่งใดๆ ก็ได้
- . OSC.LEVEL -ปรับไว้ที่ค่าสูงสุด ( MAX )
- . R = 50  $\Omega$  , C-L = off , X = Min ( 5 pF )
- . METER SENS -HI
- . X - RANGE -VHF for 50 MHz , 144 MHz

2) ต่อสายนำสัญญาณของสายอากาศที่จะทดสอบเข้าที่ขั้ว ANTENNA LOAD เลื่อนปุ่ม ON ไปที่ตำแหน่ง CW ปรับปุ่ม FINE จนกระทั่งจอแสดงผลค่าความถี่ตามที่ต้องการ (ให้ปรับปุ่ม UP-DOWN เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและละเอียดที่สุด ถ้าเกิดการ Overflow) จอแสดงผลจะแสดงผลไม่ครบทุกหลัก

3) ทดลองสวิตช์ความถี่ของออสซิลเลเตอร์ไปที่ค่าต่างๆ กัน (ที่ R = 50 โอห์ม) แล้วสังเกตเข็มของมิเตอร์ว่าชี้ไปที่จุด Min (ซ้ายสุด) หรือยัง ถ้าหากสายอากาศที่กำลังทดสอบยังไม่ได้ผ่านการตบแต่งมาก่อน หรือสายนำสัญญาณผิดปกติ เข็มของมิเตอร์จะไม่สามารถแสดงค่าที่ Min ได้ (อาจจะปรับ OSC.LEVELช่วยได้) ให้ปรับจนกระทั่งได้ค่าต่ำที่สุด

4) ปรับ R อีกเล็กน้อยจนเข็มมิเตอร์ชี้ต่ำลงจากเดิม แล้วจึงปรับปุ่ม FINE อีกนิดหน่อย เพื่อให้ได้ค่าสมดุลของวงจรบริดจ์ที่อยู่ภายในเครื่อง (เมื่อวงจรบริดจ์สมดุลเข็มมิเตอร์จะชี้ที่ค่าต่ำที่สุดหรือไม่กระดิกเลย) แสดงว่าขณะนี้สายอากาศได้เรโซแนนท์กับความถี่ที่แสดงบนจอแสดงผลแล้ว และมีค่าอิมพีแดนซ์ตามค่า R ที่ปรากฏสเกลบนปุ่มปรับ R บันทึกค่าเก็บเอาไว้

5) ปรับความยาวของสายอากาศและอุปกรณ์ที่ใช้เป็น Matching ใหม่อีกครั้งหนึ่ง เพื่อให้ได้ความสมดุลของวงจรบริดจ์ภายในเครื่องวัดที่ R = 50 โอห์มโดยไม่มีส่วนของ Reactance มาปะปนและตรงตามที่ต้องการ

### ข. การวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโดยวิธีตั้งค่าความถี่ให้คงที่

1) ปรับเซตอุปกรณ์เช่นเดียวกับ ข้อ 1) ในการทดลองข้อที่ 2 ต่อสายนำสัญญาณของสายอากาศเข้าที่ขั้วต่อ ANTENNA LOAD เปิดสวิตช์ POWER ไปที่ CW ปรับความถี่ตามที่ต้องการจะใช้งานคงที่เอาไว้

2) ปรับปุ่ม R เพื่อลดเข็มของมิเตอร์ให้ต่ำลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ปรับสวิตช์เลือก C-L โดยดูว่าเมื่อเลือกแล้วกรณีใดที่ทำให้เข็มของมิเตอร์เบี่ยงเบนน้อยกว่าให้เลือกกรณีนั้น จากนั้นปรับปุ่ม X เพื่อลดเข็มของมิเตอร์ให้ลงสู่ค่าต่ำที่สุดหรือตำแหน่ง 0 ลองปรับปุ่ม R อีกเล็กน้อยเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุด

3) บันทึกค่า R และ X ( $X_C$  หรือ  $X_L$ ) เอาไว้ โดยค่านี้จะเป็นองค์ประกอบของอิมพีแดนซ์ซึ่งวัดได้จากอินพุทของสายนำสัญญาณของสายอากาศ (จุด C รูปที่ 7.3) และถ้าสายนำสัญญาณที่ใช้ถูกตัดให้มีมีความยาวลงตัวที่จำนวน  $n$  เท่า ของครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ( $n\pi / 2$  Velocity Factor) ค่า R และ X ที่วัดได้ก็จะเปรียบเสมือนกับค่าอิมพีแดนซ์ที่เราวัดจากจุดป้อนสัญญาณ (Feed Point) ของสายอากาศโดยตรงนั่นเอง (จุด B ในรูปที่ 7.3) แต่ทั้งนี้ในการวัดค่าเรโซแนนซ์และอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะต้องระมัดระวังในเรื่องของ ผลกระทบของสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจจะเป็นร่างกายของนักศึกษาเองหรือวัสดุที่เป็นโลหะรอบข้างด้วย

ข้อแนะนำ ถ้าหากความยาวของสายนำอากาศมีค่าใกล้เคียง  $(\pi/2) \times n$  แล้วปรากฏว่าเกิดค่า Capacitive Reactance ( $X_C$ ) ที่สายอากาศดังนี้ แสดงว่าความถี่เรโซแนนซ์จะมีค่าสูงกว่าค่าที่กำหนดเอาไว้ เราสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความยาวของสายอากาศให้มากขึ้น หรือปรับ Loading Coil จนกระทั่งค่า ( $X_C$ ) ที่สายอากาศต้นเดียวกันนี้มีค่าความถี่เรโซแนนซ์ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ แสดงว่าเกิดค่า Inductive Reactance ( $X_L$ ) ขึ้นบนสายอากาศ เราสามารถแก้ไขได้โดยตัดหรือลดความยาวของสายอากาศให้สั้นลง

4) ทดลองปรับความยาวของสายอากาศให้มีความยาวต่ำกว่าและสูงกว่า ค่าความยาวครึ่งคลื่นของความถี่เรโซแนนซ์ที่ความถี่ 150 เมกะเฮิร์ต แสดงวิธีคำนวณออกมาแล้ว ทดลองวัดใหม่ตั้งแต่ข้อ 1) ถึง 3) พร้อมทั้งบันทึกค่า R และ X เอาไว้

5) ปรับความยาวของสายอากาศกลับคืนสู่ค่าที่กำหนดเอาไว้ เพื่อปรับให้สายอากาศมีค่าความถี่เรโซแนนซ์ตามที่ต้องการ จากนั้นปรับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ Matching บนตัวสายอากาศ พร้อมทั้งทำการวัดจนกระทั่งได้  $R = 50$  โอห์ม

ข้อแนะนำ - เนื่องจากค่า Reactance จะเปลี่ยนแปลงตามความถี่ตลอดทุกช่วงจุดวงกลมสีค่าที่อยู่บนสเกลของปุ่มปรับ X นั้น จะแสดงถึงค่า Reactance ที่ยังคงมีอยู่ประมาณในช่วง 10% ของค่า Resistance ที่ 50 โอห์ม ค่า X จะมีผลและเกิดขึ้นง่ายในกรณีที่ความถี่สูงดังนั้นถ้า

ปรับสายอากาศแล้วปรากฏว่ายังมีค่า  $X$  อยู่ในช่วง 10% ก็ถือว่า การ Matching นั้นใช้ได้สมบูรณ์แล้ว

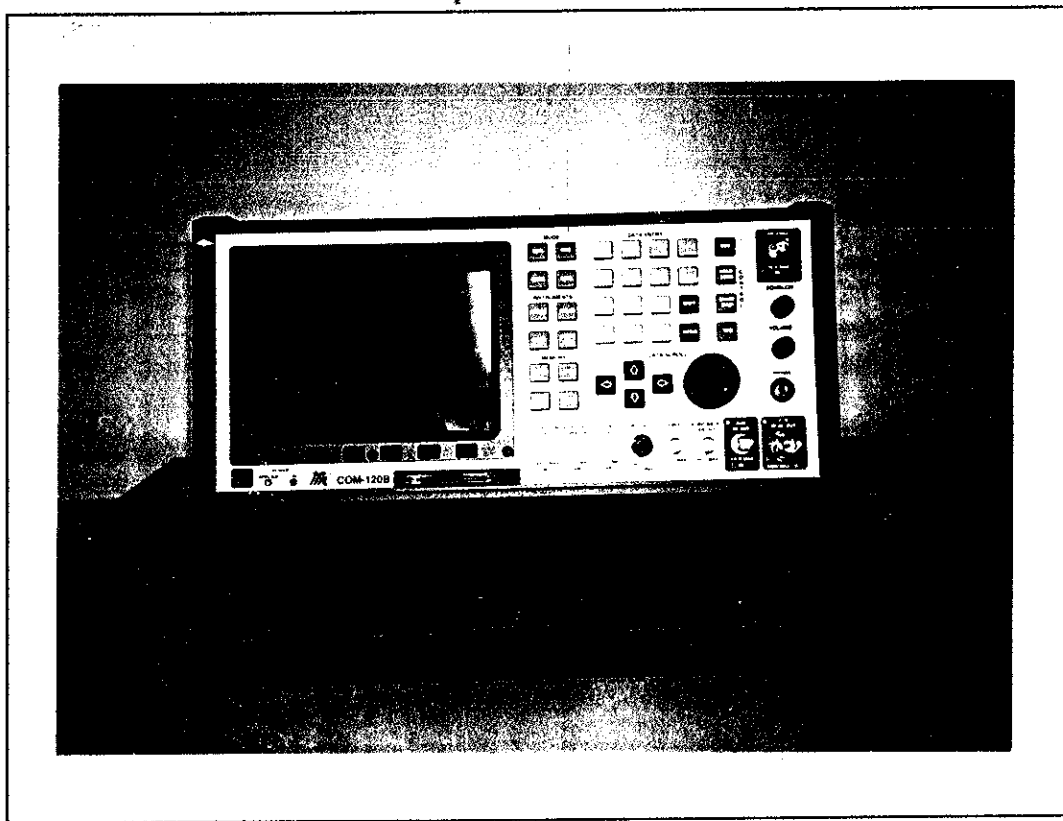
- ในสายอากาศนั้นถ้าปรากฏว่ามีค่า  $X$  เกิดขึ้น สายอากาศจะไม่สามารถเรโซแนนซ์ที่ค่าความถี่ตามที่ต้องการได้เลย และค่าของ  $R$  ก็อาจจะมีค่าไม่เท่ากับ 50 โอห์ม อย่างไรก็ตามในการปรับค่า  $R$  ของสายอากาศให้มีค่าเข้าใกล้ 50 โอห์ม นั้น สามารถทำได้โดยการปรับส่วนที่เป็นอุปกรณ์ Matching ดังนั้นเรามักจะปรับตรงส่วนนี้เป็นอันดับแรก หากยังได้ผลไม่เป็นที่พอใจก็จำเป็นต้องปรับแต่งในส่วนของอุปกรณ์ Matching ต่อไป

- ค่าของ  $X$  ที่ได้จากการวัดนั้น จะถูกต้องมากที่สุดก็ต่อเมื่อค่าของ  $R$  อยู่ในช่วง 40-60 โอห์ม ( 50 โอห์ม  $\pm$  10 โอห์ม ) และในขณะที่  $X = \text{OFF}$  นั้น ก็ไม่ได้หมายความว่าเกิดการเรโซแนนซ์ที่แท้จริง

- ในกรณีที่สายอากาศใช้สายนำสัญญาณขนาดอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม เมื่อนำมาวัดเรโซแนนซ์จะปรากฏค่า  $X_c = 13 \text{ pF}$  หรือตรงจุดที่เครื่องหมาย แสดงอยู่ ซึ่งเป็นช่วงที่ค่า  $X$  ยังอยู่ในช่วง 15 % ของค่า Resistance 75 โอห์ม ดังนั้นในการพิจารณาที่สายนำสัญญาณ 75 โอห์ม ค่า  $X = 0$  จะอยู่ที่ตำแหน่ง  $X_c = 13 \text{ pF}$  นั่นเอง

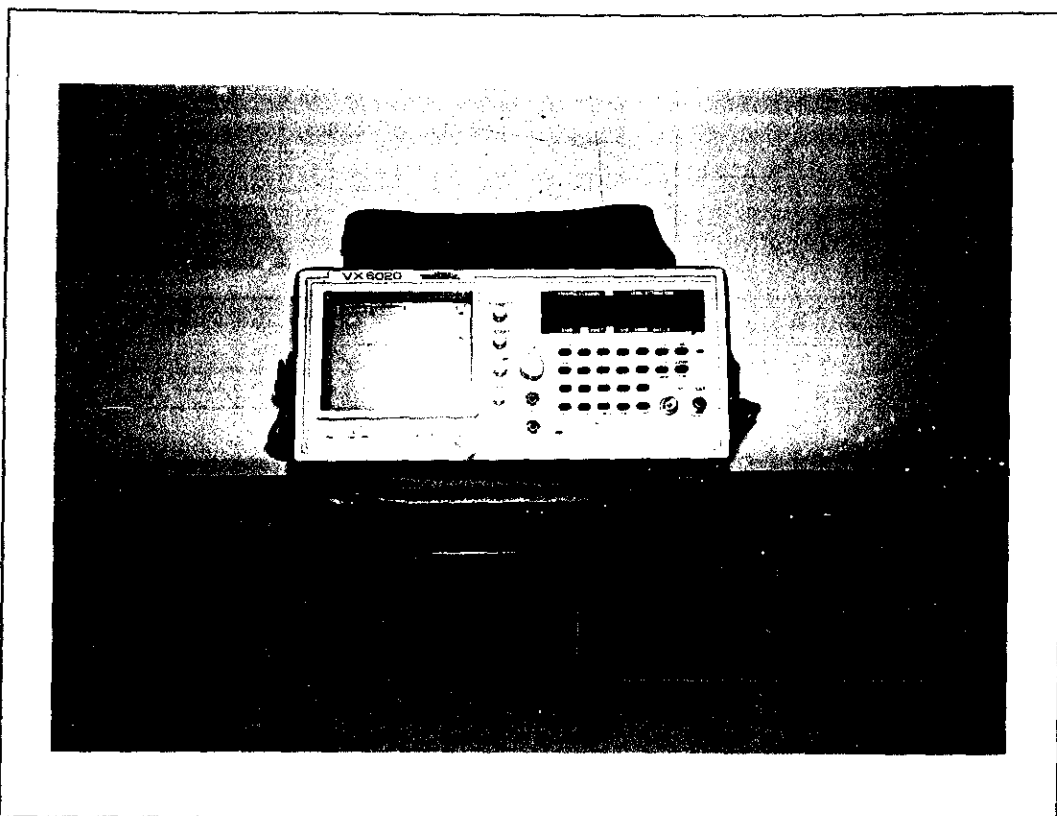
ภาคผนวก ก.  
รูปอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

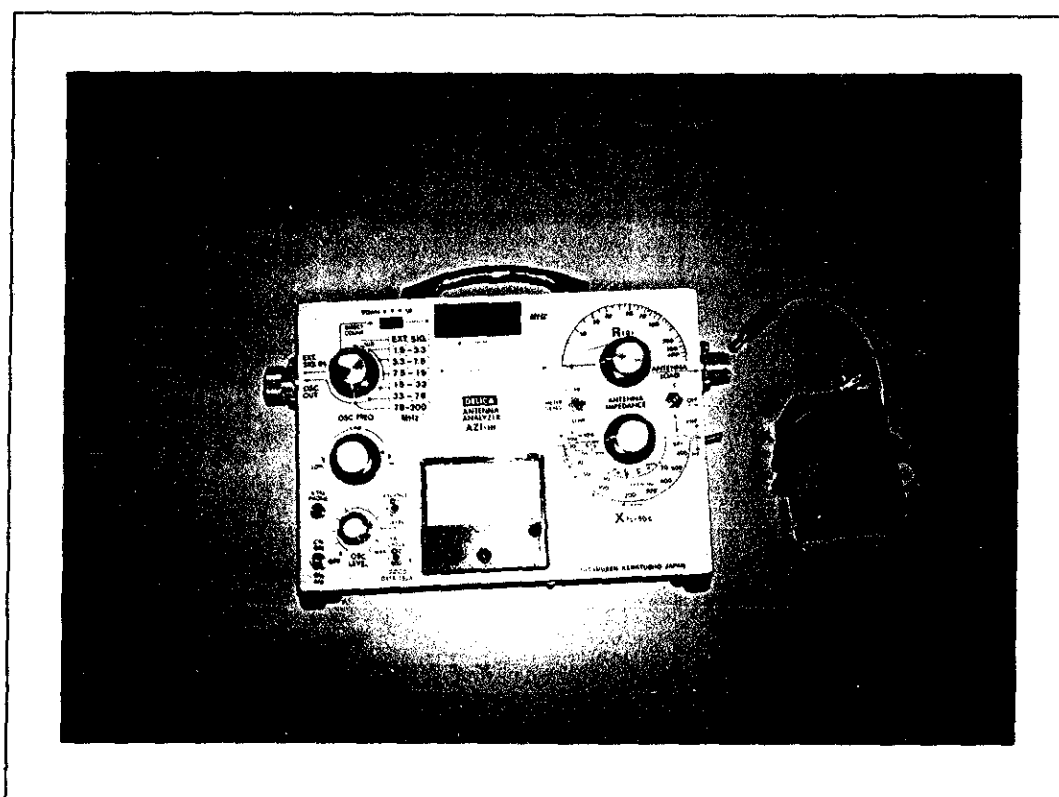


รูปที่ 7.6 เครื่องกำเนิดสัญญาณ (SIGNAL GENERATOR)

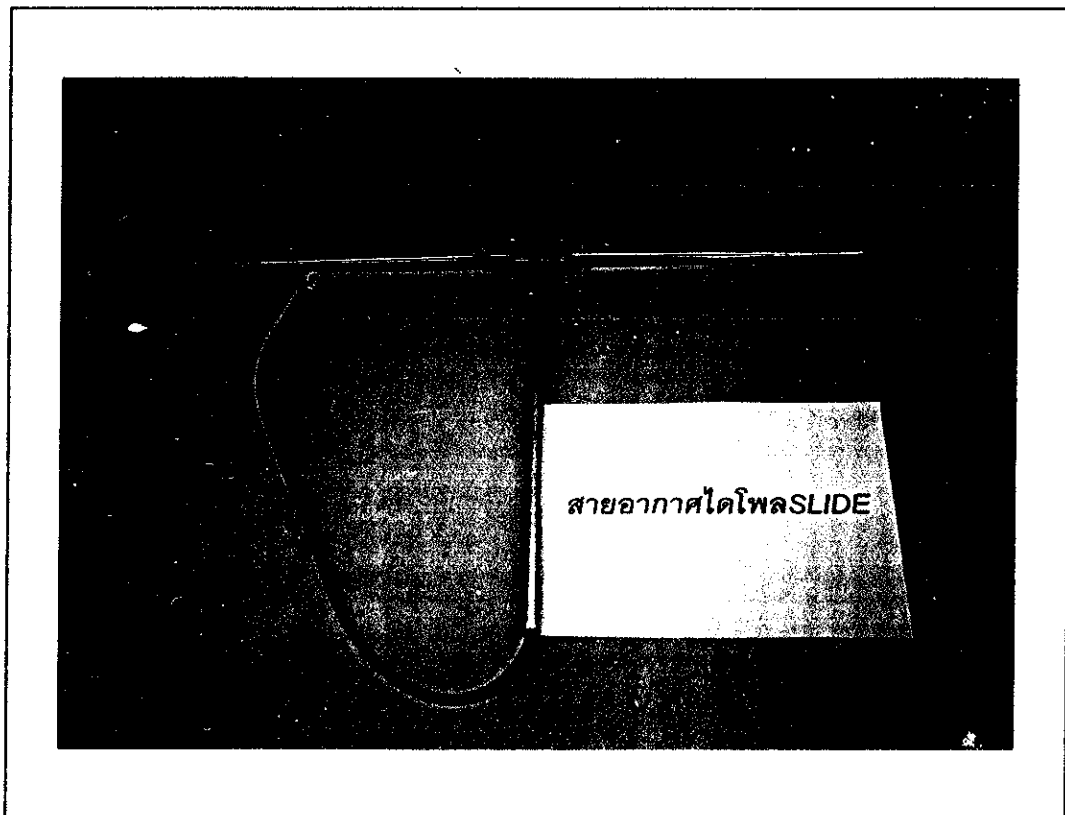




รูปที่ 7.7 เครื่องวัดระดับสัญญาณ โทรทัศน์ (T.V. FIELD STRENGTH ANALYSER)

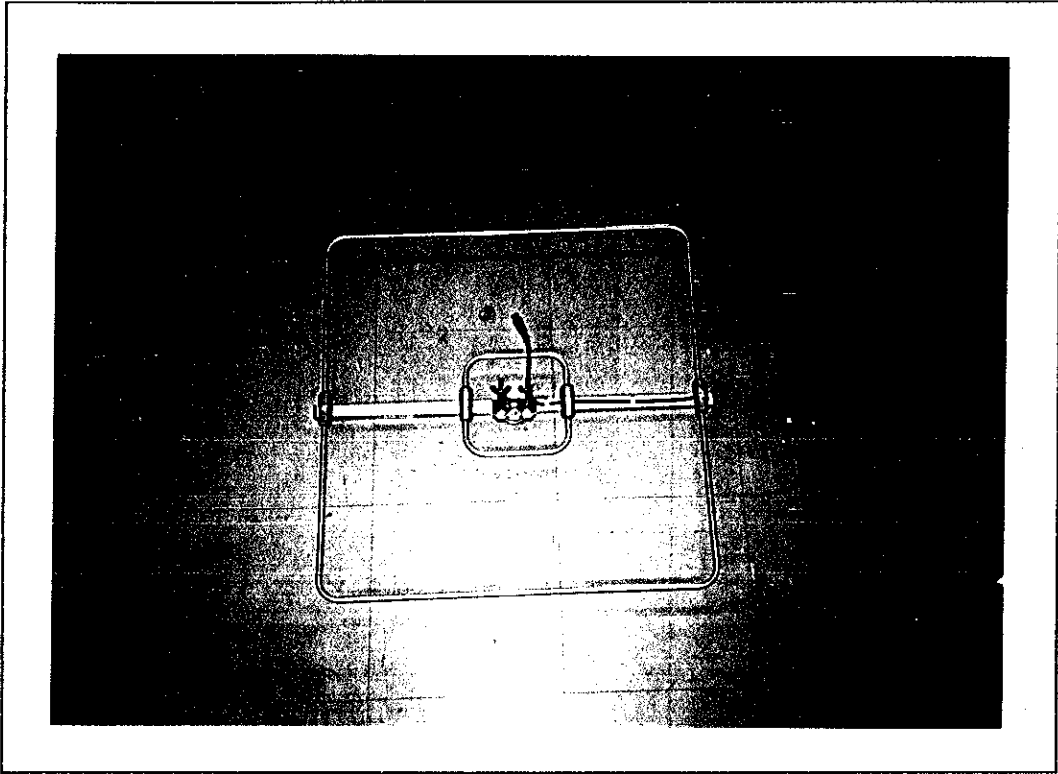


รูปที่ 7.8 เครื่องมือวิเคราะห์สายอากาศ (ANTENNA ANALYZER)

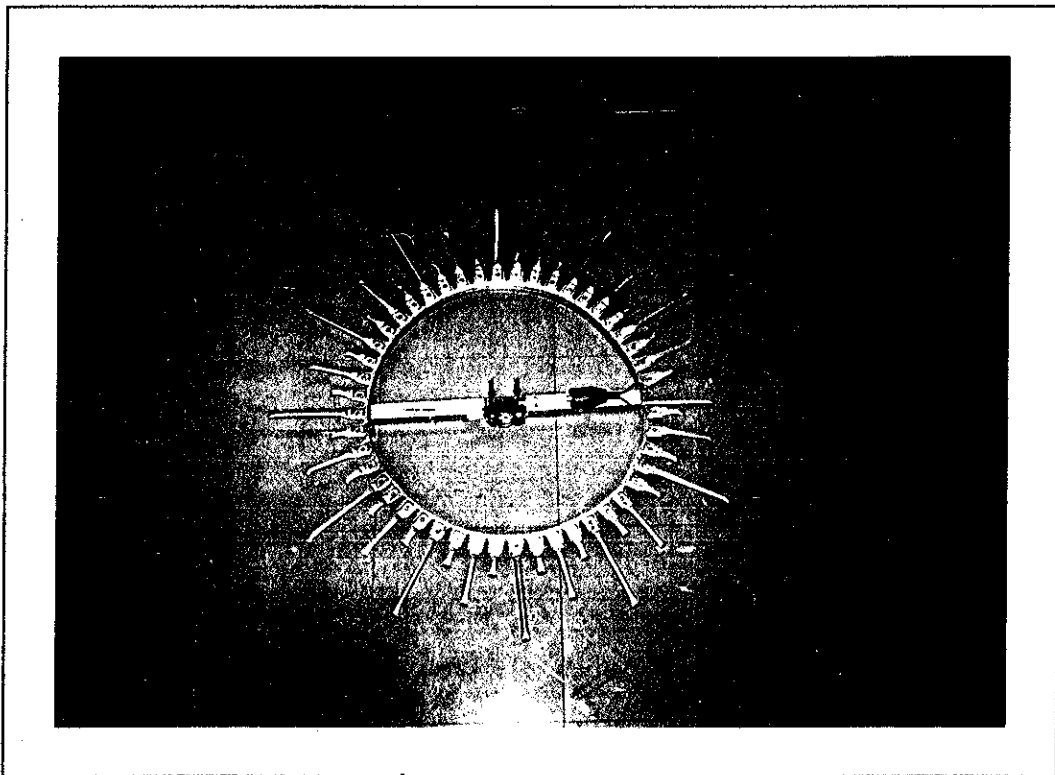
**สายอากาศ**

**รูปที่ 7.๑** สายอากาศไคโพลครึ่งความยาวคลื่นแบบปรับความยาวได้ (SLIDE ANTENNA)

สายอากาศรอบตัวที่เราสนใจศึกษา

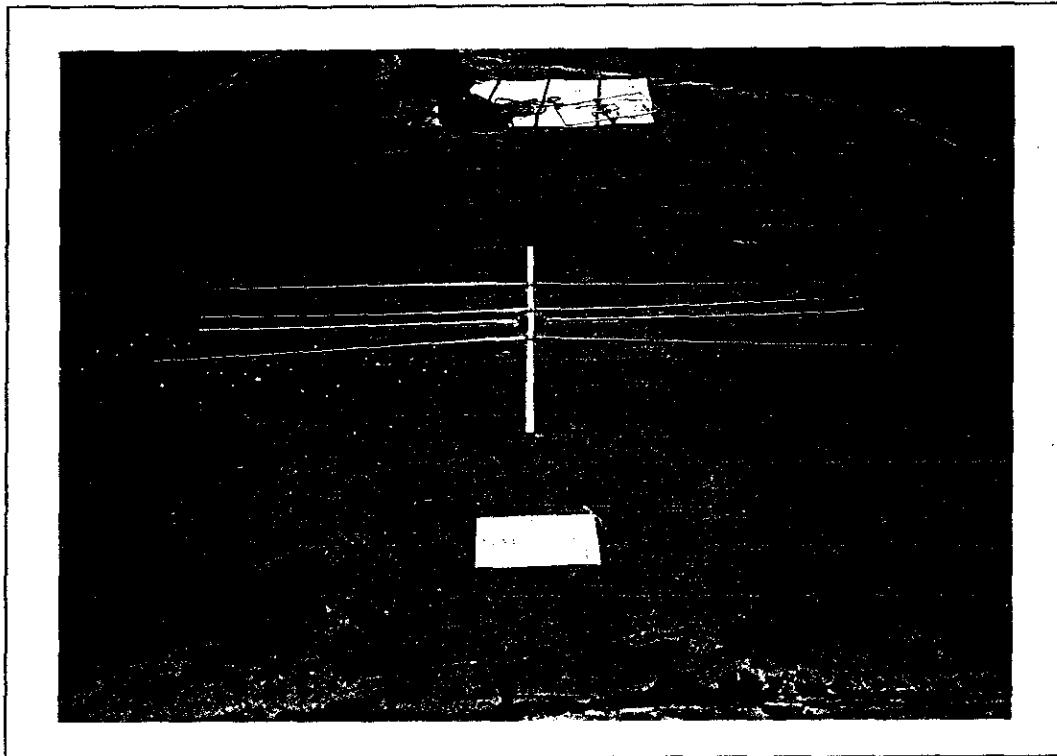


รูปที่ 7.10 สายอากาศทิวีสกรีน™

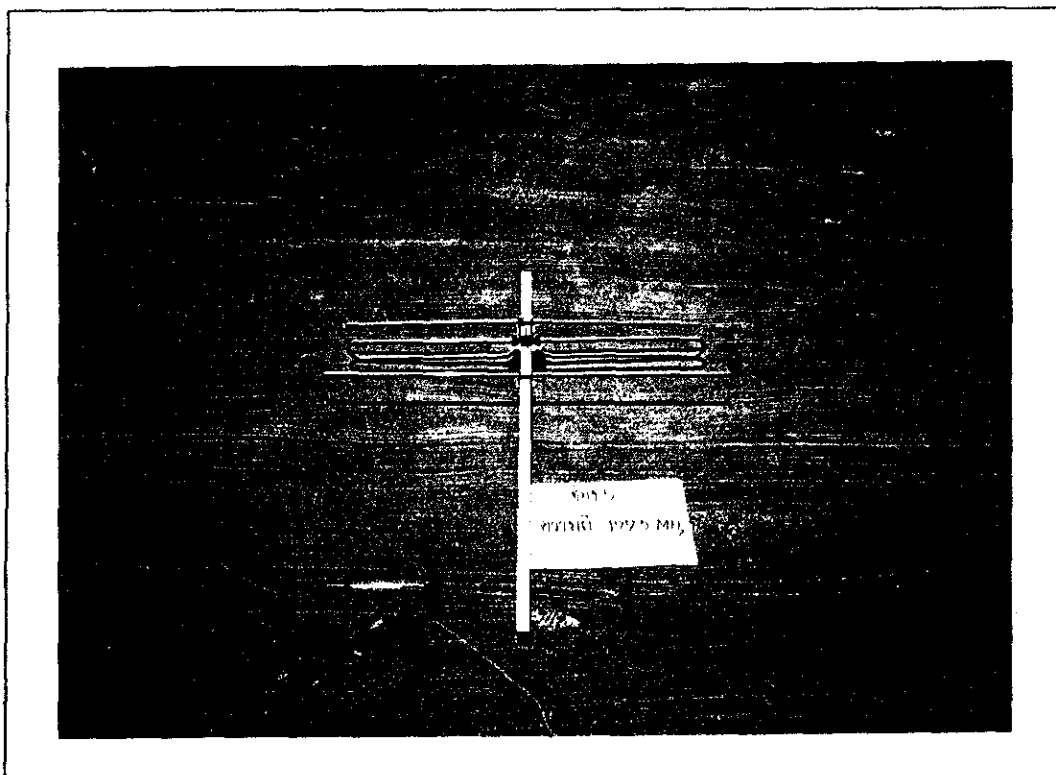


รูปที่ 7.11 สายอากาศสิบทิศ™

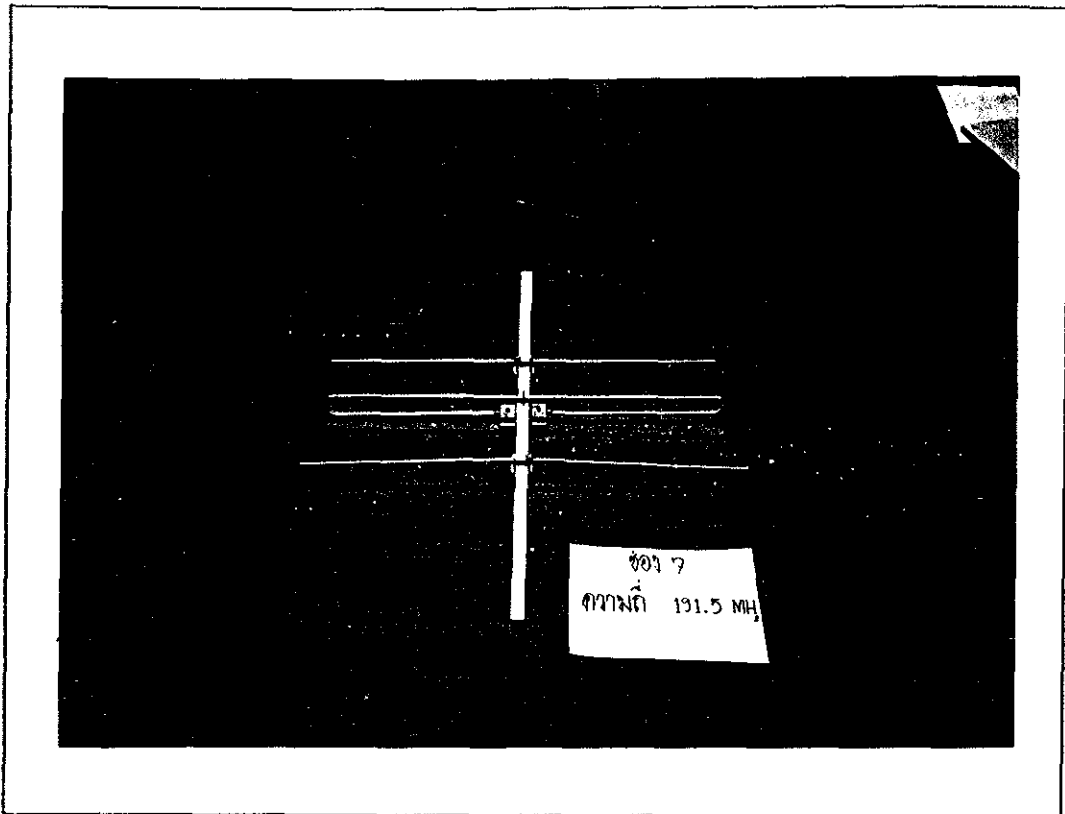
สายอากาศยาก็แบบไดโพลที่สร้างขึ้นเป็นสายอากาศส่ง



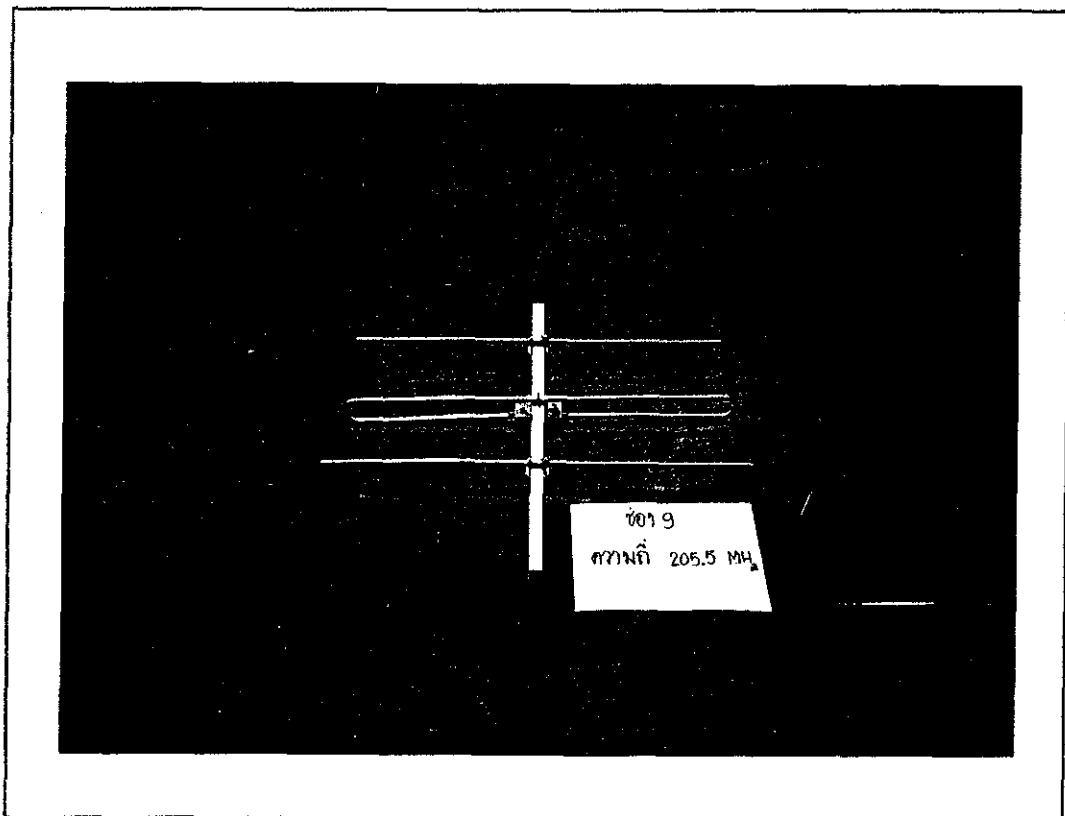
รูปที่ 7.12 แสดงสายอากาศยาก็แบบไดโพลช่อง 3



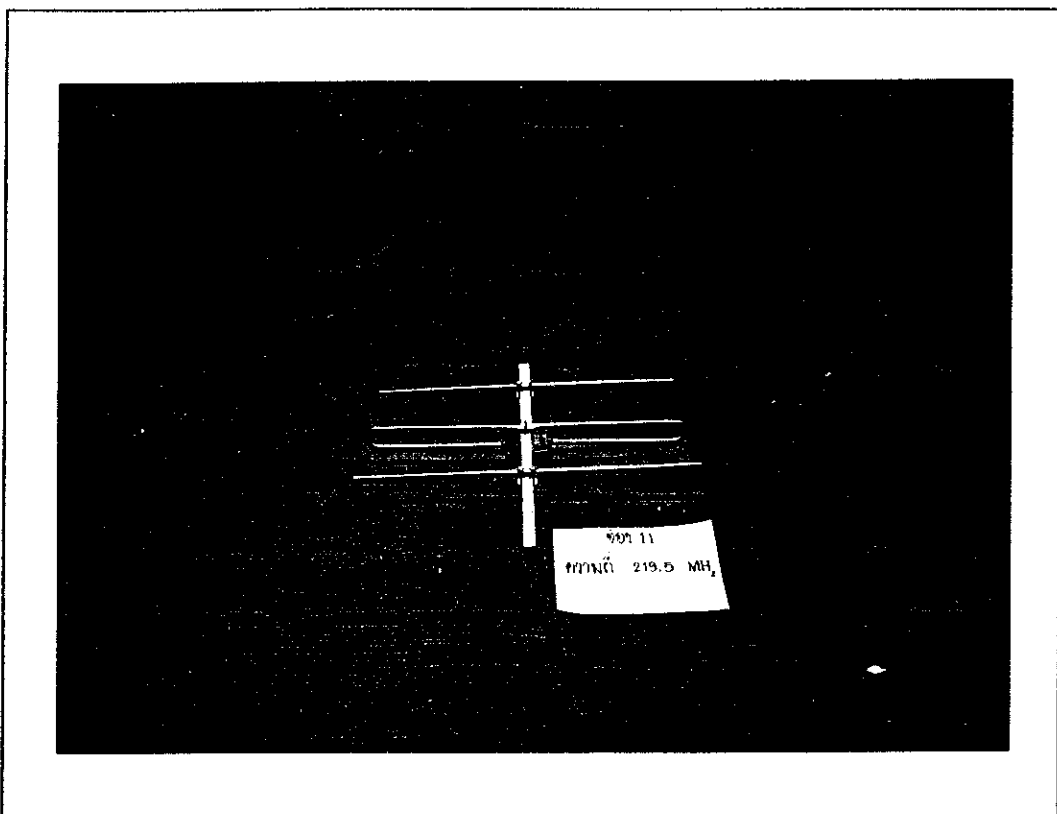
รูปที่ 7.13 แสดงสายอากาศยาก็แบบไดโพลช่อง 5



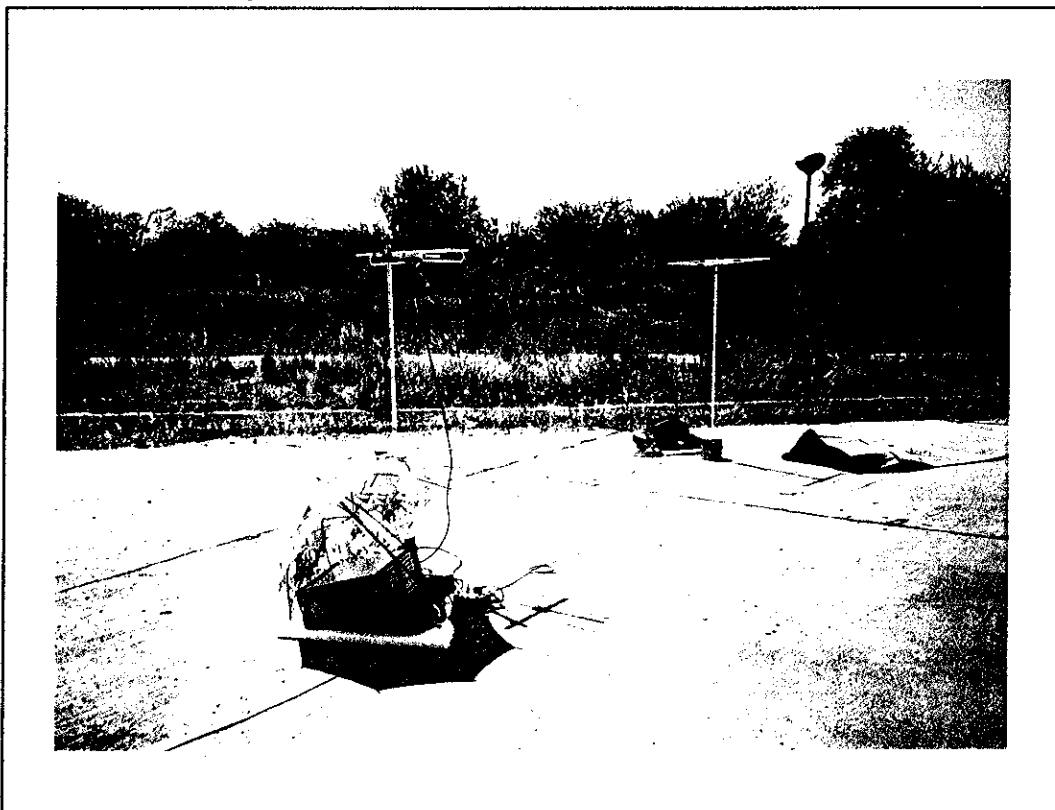
รูปที่ 7.14 แสดงสาขอากาศยาก็แบบไดโพลช่อง 7



รูปที่ 7.15 แสดงสาขอากาศยาก็แบบไดโพลช่อง 9



รูปที่ 7.16 แสดงสายอากาศวิทยุแบบไดโพลช่อง 11



รูปที่ 7.17 แสดงการติดตั้งการทดลองหาค่ากระแสวนการแผ่คลื่น

## บรรณานุกรม

1. บัณฑิต ไรจน์อารยานนท์, วิศวกรรมสายอากาศ, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2537.
2. รังสรรค์ วงศ์สรรคร์, Antenna Analyzer, เอกสารประกอบการเรียนวิชา Telecommunication Laboratory I, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
3. รังสรรค์ วงศ์สรรคร์, Digital DIP Meter, เอกสารประกอบการเรียนวิชา Telecommunication Laboratory I, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
4. วิสันต์ อาชาเดโชพล และคณะ, สายอากาศและเทคนิคการติดตั้ง, ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ.
5. Constantine A. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, John Willy & Sons, Inc. Singapore, 1982.
6. Jerry Sevick, Transmission Line Transformer, American Radio Relay League, 1990.
7. John D. Kraus, Antennas, Mc Graw-Hill International, 1950.
8. Richard C. Johnson, Antenna Engineering Handbook, Mc Graw-Hill International, 1993.
9. Robert E. Colline, Antennas and Radiation Propagation, Mc Graw-Hill International, 1985.

## ประวัติผู้เขียน

ดิฉัน นางสาวอินทรา พงษ์สง่างาน ปัจจุบันอายุ 22 ปี เกิดเมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม 2518 ภูมิลำเนาเดิมอยู่ที่อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนกุลโน เมื่อปี พ.ศ. 2530 ได้เข้าศึกษาต่อที่โรงเรียนพิมายวิทยานจบการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย เมื่อปีการศึกษา 2335 และได้เข้าศึกษาต่อที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2536 ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีด้านวิศวกรรมศาสตร์ สาขาโทรคมนาคม

ในการสนใจศึกษาโครงการเรื่องการศึกษาเชิงทดลองคุณสมบัติของสายอากาศรอบทิศทาง เนื่องจากการศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของสายอากาศและทำการทดลองจะมีส่วนช่วยในการเลือกสายอากาศที่จะใช้งานให้เหมาะสมกับเครื่องรับโทรทัศน์ และเพื่อการศึกษาโครงสร้างของสายอากาศว่าลักษณะต่างๆ ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพแตกต่างกันอย่างไร