การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546

CONSTRUCTING AND EFFICIENCY FINDING FOR THE YAGI ANTENNA LABORATORY SET FOR TRANSMISSION LINES AND ANTENNA SUBJECT IN THE DIPLOMA CURRICULUM B.E. 2546

วีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา

WERASAK JANLAMOONMAR

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2549

ISBN 974-16-2427-7

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546

CONSTRUCTING AND EFFICIENCY FINDING FOR THE YAGI ANTENNA LABORATORY SET FOR TRANSMISSION LINES AND ANTENNA SUBJECT IN THE DIPLOMA CURRICULUM B.E. 2546

วีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา

WERASAK JANLAMOONMAR

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....63500
วัน,เดือน,ปี.....29 ส.ค. 2549

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2549

ISBN 974-15-2427-7

CONSTRUCTING AND EFFICIENCY FINDING FOR THE YAGI ANTENNA LABORATORY SET FOR TRANSMISSION LINES AND ANTENNA SUBJECT IN THE DIPLOMA CURRICULUM B.E.2546

WERASAK JANLAMOONMAR

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION PROGRAM IN
ELECTRICAL COMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2006

ISBN 974-15-2427-7

COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองเรื่อง สายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546
CONSTRUCTING AND EFFICIENCY FINDING FOR THE YAGI ANTENNA LABORATORY SET FOR TRANSMISSION LINES AND ANTENNA SUBJECT IN THE DIPLOMA CURRICULUM B.E. 2546

ชื่อนักศึกษา นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา

รหัสประจำตัว 44064602

ปริญญา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ธีระพล	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	
ดร.สมชาย	หมื่นสายญาติ	
ผศ.ดร.สุรสิทธิ์	ราตรี	
ดร.ศิริพรรณ	ชุมนุม	
ดร.พรพิมล	ฉายรัศมี	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 27 มีนาคม 2549 เวลา 9.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้องเรียนปริญญาโท 1 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(ผศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 23 **เดือน** มีนาคม **พ.ศ.** 2549

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองเรื่องสายอากาศแบบ YAGI หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546
นักศึกษา	นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา
รหัสประจำตัว	44064602
ปริญญา	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 ตามเกณฑ์มาตรฐาน 80/80

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในวิจัยครั้งนี้ คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ จำนวน 20 คน ได้มาโดยวิธีการสุ่มอย่างง่ายแบบจับสลาก

การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI มีวิธีดำเนินการโดยศึกษาสายอากาศแบบ YAGI ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กำหนดเนื้อหา 6 หัวข้อ กำหนดจุดประสงค์ทั่วไปและจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม ให้ครอบคลุมเนื้อหาของแต่ละใบงาน สร้างชุดทดลอง ใบงานการทดลอง และแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพื่อใช้วัดความสามารถการปฏิบัติของนักศึกษาด้วยชุดทดลอง โดยมีการทดลอง 6 หน่วยใบงาน แต่ละใบงานจะมีการประเมินระหว่างการทดลองเป็นแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เมื่อทดลองครบ 6 หน่วยแล้ว จะมีการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย

ผลการวิจัยพบว่า คุณภาพชุดทดลองอยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.95, S.D. = 0.10) คุณภาพใบความรู้อยู่ในระดับดีมาก ($\overline{X}$ = 4.56, S.D. = 0.58) คุณภาพใบงานการทดลองทดลองอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ = 4.46, S.D. = 0.58) คุณภาพแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอยู่ในระดับดี ($\overline{X}$ = 4.26, S.D. = 0.32) และประสิทธิภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 89.00/91.90 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 เป็นไปตามสมมุติฐานการวิจัย

Thesis Title	Constructing and efficiency finding for the Yagi antenna laboratory set for transmission lines and antenna subject in the Diploma Curriculum B.E. 2546
Student	Mr. Werasak Janlamoonmar
Student ID.	44064602
Degree	Master of Science
Programme	in Industrial Education Electrical Communication Engineering
Year	2006
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Threraphon Thephasadin-Na-Ayuthaya
Thesis Co-Advisor	Dr. Somchai Maunsaiyat

ABSTRACT

The purposes of this research were to construct and find efficiency of the Yagi antenna laboratory set for transmission lines and antenna subject in the Diploma Curriculum B.E. 2546. The standard efficiency was set at 80/80.

The sample of this research was 20 second-years students of the Electronics department at Buriram Technical College in the academic B.E. 2548 by simple random sampling.

The method of this research was studying the theories that related to the Yagi antenna , determining the topic of lab sheets (6 sheets), setting the general and behavioral objectives, constructing the Yagi antenna laboratory set , writing job sheets and the objectives to conjecture the 6 parts ,and developing the achievement tests.

The results of evaluation showed that the quality of the Yagi antenna laboratory set was very good level ($\overline{X}$ = 4.95, S.D. = 0.10) , the quality of lab sheets was very good level ($\overline{X}$ = 4.56, S.D. = 0.58) , the quality of job sheets was good level ($\overline{X}$ = 4.26, S.D. = 0.32) , and the Yagi antenna laboratory set had the efficiency at 89.00/91.90 which was higher than the standard criterion.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และช่วยตรวจสอบ แก้ไขเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ตลอดจนการปรับปรุงจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สมบูรณ์ เนียมกล่ำ อาจารย์อำนวย สุปะติ อาจารย์ไชยวัฒน์ วงษ์สมศรี อาจารย์มนตรี พรหมเพ็ชร อาจารย์อุดม ภายี และอาจารย์วิวัฒน์ ปุยะติ ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและตรวจสอบแก้ไข เพื่อการปรับปรุงให้เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีคุณภาพสูงสุด

ขอขอบพระคุณ อาจารย์วัชรินทร์ ศิริพานิช ผู้อำนวยการสถานศึกษาวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่อำนวยความสะดวกและให้การสนับสนุนในการทดลองใช้เครื่องมือในการวิจัย และเก็บรวบรวมข้อมูล

ขอขอบพระคุณ คณะครูและนักศึกษาแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้ความร่วมมือในการประเมินกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย จนทำให้วิทยานิพนธ์ประสบความสำเร็จและขอขอบใจนักศึกษา สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ทุกคนที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์พรชัย วัฒนครไพบูลย์ คณะครูอาจารย์ เจ้าหน้าที่ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษาเสนอแนะจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อเสน่ห์ จันทร์ละมุนมา และคุณแม่จรัญ จันทร์ละมุนมา ผู้เป็นที่เคารพรักยิ่ง รวมทั้ง ที่ได้ให้ความรัก ให้กำลังใจ ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือทุกด้านตลอดมา

คุณค่า และประโยชน์ใดๆ ที่เป็นผลจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย 3

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย 3

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ พุทธศักราช 2546 และแผนการสอน 6

2.2 สายส่งและสายอากาศแบบ YAGI 10

2.3 กระบวนการเรียนรู้ด้วยวิธี CIPPA MODEL 36

2.4 การสอนภาคปฏิบัติ 36

2.5 การหาประสิทธิภาพชุดทดลอง 40

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 43

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 45

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 45

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 45

3.3 การสร้างเครื่องมือในการวิจัย 46

3.4 วิธีการดำเนินการ และเก็บรวบรวมข้อมูล 51

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 52

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 54

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI 54

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของใบความรู้และใบงานการทดลอง 55

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 58

4.4 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI 59

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายและข้อเสนอแนะ 61

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 61

5.2 สมมุติฐานการวิจัย 61

5.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง 61

5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 62

5.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล 62

5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล 63

5.7 สรุปผลการวิจัย 64

5.8 อภิปรายผลการวิจัย 64

5.9 ข้อเสนอแนะ 65

บรรณานุกรม 67

ภาคผนวก 69

ภาคผนวก ก หนังสือราชการ 70

ภาคผนวก ข แผนการสอนและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 78

ภาคผนวก ค คู่มือครูและเฉลยแบบประเมิน 217

ภาคผนวก ง แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือวิจัย 249

ภาคผนวก จ ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 290

ภาคผนวก ฉ รูปแบบชุดทดลองสายอากาศ 304

ประวัติผู้เขียน 312

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แผนการสอน รหัสวิชา 31052304 ชื่อวิชา สายส่งและสายอากาศ	9
2.2	แสดงความยาวที่เหมาะสมของแต่ละอีลีเมนต์ ทุกกรณีนี้รีเฟลกเตอร์อยู่ห่างจากดริเว่นอีลีเมนต์ 0.2 λ และเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์เป็น 0.0085 λ	31
2.3	แสดงคุณสมบัติของสายโคแอกเชียลที่นิยมใช้กัน	35
4.1	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิด้านชุดทดลอง	54
4.2	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระดับความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิด้านใบความรู้และใบงานการทดลอง	56
4.3	แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทุกหน่วยการเรียนและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย	58
4.4	แสดงคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลองหน่วยที่ 1-6 และคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้ายของนักศึกษา จำนวน 20 คน	59
4.5	แสดงประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI	60
ข6.1	แสดงความยาวที่เหมาะสมของแต่ละอีลีเมนต์ ทุกกรณีนี้รีเฟลกเตอร์อยู่ห่างจากดริเว่นอีลีเมนต์ 0.2 λ และเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์เป็น 0.0085 λ	191
ค1	แสดงค่า SWR	221
ค2	แสดงความถี่ (MHz)	228
จ1	แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านชุดทดลอง เพื่อหาคุณภาพ	291
จ2	แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านเนื้อหาและใบงาน เพื่อหาคุณภาพ	292
จ3	แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยที่ 1	293
จ4	แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยที่ 2	294
จ5	แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยที่ 3	295

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

จ6 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยที่ 4 296

จ7 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยที่ 5 297

จ8 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยที่ 6 298

จ9 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย 299

จ10 แสดงรายละเอียดคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบงานของนักศึกษาจำนวน 20 คน 300

จ11 แสดงรายละเอียดคะแนนของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้ายของนักศึกษาจำนวน 20 คน 301

จ12 แสดงคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลอง หน่วยที่ 1 - 6 และคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย ของนักศึกษาจำนวน 20 คน 302

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงเสาอากาศไดโพล	12
2.2	แสดงแผงรับสัญญาณโทรทัศน์แบบอัตราขยายสูง	14
2.3	แสดงสายนำสัญญาณ	14
2.4	แสดงระนาบเมอริเดียนและอิเควโทเรียลของสายอากาศ	15
2.5	แสดงอัตราส่วนฟรอนต์ทูแบคของสายอากาศ	16
2.6	แสดงบีมวิดท์ของสายอากาศ	16
2.7	แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$ และรีเฟลกเตอร์ในระนาบแนวราบ	17
2.8	แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$ และรีเฟลกเตอร์ในระนาบแนวตั้ง	18
2.9	แสดงแกนโคโอดิเนตในการวิเคราะห์สายอากาศ	18
2.10	แสดงตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเร็คชั่นแนล	19
2.11	แสดงส่วนต่างๆ ของรูปแบบการแพร่คลื่น	19
2.12	แสดงการต่อไดโพลแบบ $\frac{1}{2}\lambda$ กับสายทวินลีด 75 โอห์ม	22
2.13	แสดงการต่อสายอากาศแบบ $\frac{1}{2}\lambda$ กับสายโคแอกเชียลขนาด 75 โอห์ม	23
2.14	แสดงการต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศโดยตรง	24
2.15	แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 1 : 1	24
2.16	แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 4 : 1	25
2.17	แสดงตัวอย่างการใช้สายยาว $\lambda/4$	26
2.18	แสดงการต่อสตับเบื้องต้นของสายอากาศ	26
2.19	แสดงการแมทช์โดยวิธีรูปตัวที (ใช้กับสายอากาศแบบ $\lambda/2$ และสายนำสัญญาณขนาด 600 โอห์ม)	27
2.20	แสดงการต่อตัวเก็บประจำอนุกรมเพื่อปรับค่ารีโซแนนซ์	28
2.21	แสดงวิธีแมชท์แบบแกมม่าโดยใช้สายโคแอกเชียลขนาด 52 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม	28
2.22	แสดงวิธีแมทช์แบบโอเมก้า	29
2.23	แสดงผลการทดลองหาอัตราขยายของสายอากาศ Yagi สำหรับระยะห่างต่าง ๆ กัน ระหว่างรีเฟลกเตอร์และดริเว่นอีลีเมนต์ โดยทดลองที่ความสูงจากพื้นดินประมาณ 2λ	29
2.24	แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของยากิ	30
2.25	กราฟแสดงความยาวของอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้นจากผลการทดลองของ NBS เมื่อยึดอีลีเมนต์ทะลุผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบูมกลมโดยสัมผัสทางไฟฟ้ากับบูมด้วย	32
2.26	แสดงตัวอย่างวิธีการแมทชิ่งไดโพล 2 และ 3 สแต็ก	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.1	แสดงลำดับขั้นตอนในการสร้างชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI	47
3.2	แสดงลำดับขั้นตอนในการสร้างใบความรู้ ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน	49
ข1.1	แสดงลักษณะเสาอากาศแบบหนวดกุ้ง	83
ข1.2	แสดงเสาอากาศโทรทัศน์แบบใช้ภายนอกบ้าน (แบบยากิ)	84
ข1.3	แสดงเสาอากาศไดโพล	85
ข1.4	แสดงทิศทางการรับคลื่นของไดโพล	86
ข1.5	แสดงแผงรับสัญญาณโทรทัศน์แบบอัตราขยายสูง	88
ข1.6	แสดงสายนำสัญญาณ	88
ข1.7	แสดงกราฟแสดงการสูญเสียสัญญาณที่ความถี่ต่าง ๆ ของสายนำสัญญาณ	89
ข1.8	แสดงคุณสมบัติเฉพาะของสายโคแอกเชียลแบบต่าง ๆ (NIPPON ANTENNA)	90
ข1.9	แสดงแผงรับสัญญาณช่อง 7 และการต่อสายนำสัญญาณ 300 โอห์มเข้าขั้วสายอากาศ	91
ข1.10	แสดงแมทชิ่ง 300 – 75 โอห์มและการต่อสายนำสัญญาณ	92
ข1.11	แสดงความถี่ย่าน VHF	92
ข1.12	แสดงความถี่ย่าน UHF	93
ข2.1	แสดงระนาบเมอริเดียนและอิเควโทเรียลของสายอากาศ	106
ข2.2	แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลแบบแนวตั้ง (ขนาด $\lambda/2$)	107
ข2.3	แสดงอัตราส่วนพรอนด์ทูรแบคของสายอากาศ	108
ข2.4	แสดงบีมวิดท์ของสายอากาศ	109
ข2.5	แสดงสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$ พร้อมกับรีเฟลกเตอร์ และไดเรกเตอร์	111
ข2.6	แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$ และรีเฟลกเตอร์ในระนาบแนวราบ	112
ข2.7	แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$ และรีเฟลกเตอร์ในระนาบแนวตั้ง	112
ข2.8	แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$ และรีเฟลกเตอร์ในระนาบแนวนอน	113
ข2.9	แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนไดเรกเตอร์กับอัตราขยายของสายอากาศยากิในทิศทางที่มีการแพร่มากที่สุด	114
ข2.10	แสดงแกนโคโอดิเนตในการวิเคราะห์สายอากาศ	115
ข2.11	แสดงตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเร็คชั่นแนล	116
ข2.12	แสดงส่วนต่าง ๆ ของรูปแบบการแพร่คลื่น	116
ข3.1	แสดงการต่อไดโพลแบบ $\frac{1}{2}\lambda$ กับสายทวินลีด 75 โอห์ม	133

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ข3.2 แสดงการต่อสายอากาศแบบ $\frac{1}{2}\lambda$ กับสายโคแอกเชียลขนาด 75 โอห์ม 133

ข4.1 แสดงการต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศโดยตรง 147

ข4.2 แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 1 : 1 147

ข4.3 แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 4 : 1 148

ข4.4 แสดงตัวอย่างการใช้สายยาว $\lambda/4$ 149

ข4.5 แสดงการต่อสตับเบื้องต้นของสายอากาศ 149

ข4.6 แสดงแมทช์โดยวิธีสตับ 150

ข4.7 แสดงการหาความยาวสตับไปยังเครื่องส่งวงจรปิด 151

ข4.8 แสดงการหาความยาวสตับไปยังเครื่องส่งวงจรเปิด 151

ข5.1 แสดงการแมทช์โดยวิธีรูปตัวที (ใช้กับสายอากาศแบบ $\lambda/2$ และสายนำสัญญาณขนาด - 600 โอห์ม) 165

ข5.2 แสดงการต่อตัวเก็บประจำอนุกรมเพื่อปรับค่ารีโซแนนซ์ 166

ข5.3 แสดงวิธีแมทช์แบบแกมม่าโดยใช้สายโคแอกเชียลขนาด 52 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม 166

ข5.4 แสดงวิธีแมทช์แบบโอเมก้า 167

ข5.5 แสดงวิธีการจัดวางไดโพล 2 แบบที่นิยมกันสำหรับสแต็ก 168

ข5.6 แสดงผลการทดลองนำเอาไดโพลตัวเดียวมาวางห่างเสากลางที่ระยะต่างๆ 169

ข5.7 แสดงผลการทดลองนำเอาไดโพลมาสแต็กกัน 2 ตัวที่ระยะต่างๆ ระหว่างปลาย ของไดโพล ตัวหนึ่งกับอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน 170

ข5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายที่ได้กับจำนวนไดโพลที่นำมาสแต็กกัน ให้ห่าง 0.22 λ จากเสากลาง และปลายห่างกัน 0.48 λ 170

ข5.9 แสดงตัวอย่างวิธีการแมทชิ่งไดโพล 2 และ 3 สแต็ก 172

ข5.10 แสดงคุณสมบัติของสายโคแอกเชียลที่นิยมใช้กัน 173

ข5.11 แสดงระยะห่างระหว่างสายอากาศ 5E 2 ต้นและการต่อสายแต่ละต้นมาขนานกัน 174

ข6.1 แสดงผลการทดลองหาอัตราขยายของสายอากาศ YAGI สำรับระยะห่างต่าง ๆ กัน ระหว่างรีเฟลกเตอร์และดริเว่นอีลีเมนต์ โดยทดลองที่ความสูงจากพื้นดินประมาณ $\lambda/2$ 189

ข6.2 แสดงการจัดรีเฟลกเตอร์ 3 อันเป็นรูปสามเหลี่ยมตามการทดลองของ NBS 190

ข6.3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของยากิ 190

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ข6.4 แสดงกราฟแสดงความยาวของอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้นจากผลการทดลองของ NBS เมื่อยึดอีลีเมนต์ทะลุผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบูมกลมโดยสัมผัสทางไฟฟ้ากับบูมด้วย 192

ข6.5 แสดงกราฟช่วยการออกแบบสายอากาศ YAGI ของ NBS 193

ข6.6 แสดงดริเว่นอีลีเมนต์ และวิธีการแมทช์แบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้กับสายอากาศ YAGI 197

ข6.7 แสดงรายละเอียดของบาลันแบบต่าง ๆ ที่สร้างได้ง่ายและนิยมใช้กันสำรับระบบอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม 198

ข6.8 แสดงการใช้กราฟช่วยการออกแบบสายอากาศ YAGI ตามตัวอย่างที่ 1 เพื่อให้ได้สายอากาศ GE สำหรับความถี่ 50.1 MHz บนบูมยาว 1.2 λ 200

ข6.9 แสดงผลการออกแบบสายอากาศ YAGI GE สำหรับความถี่ 50.1 MHz บนบูม 1.2 λ 201

ค1 แสดงส่วนต่างๆ ของเครื่อง SWR & POWER METER 218

ค2 แสดงลักษณะตำแหน่งจุดต่อการใช้ SWR & POWER METER SX-400 219

ค3 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ 220

ค4 แสดงสเกลมิเตอร์ SX-400 220

ค5 แสดงตำแหน่ง FUNCTION SWITCH 221

ค6 แสดงปุ่มฟังก์ชั่นต่างๆ ของตัวเครื่องวิทยุสื่อสาร FUJITEL FB-246 222

ค7 แสดงระบบหน้าจอ 224

ค8 แสดงหน้าจอขณะอยู่ในโหมด 224

ค9 แสดงหน้าจอบอกช่วงเวลาในการส่ง 224

ค10 แสดงการตั้งระบบ CTCSS 225

ค11 แสดงหน้าจอตั้งระบบ VOX 226

ค12 แสดงหน้าจอ HIGH/LOW POWER 226

ค13 แสดงหน้าจอบอกการล็อคปุ่ม 226

ค14 แสดงหน้าจอการตั้งระบบเตือนเสียงปี๊บ ON/OFF 226

ค15 แสดงหน้าจอการตั้งระดับสเควลซ์ 227

ค16 แสดงหน้าจอการเข้าสู่ระบบป้องกันการส่งสัญญาณ 227

ค17 แสดงหน้าจอการตั้ง STEP 227

ฉ1 แสดงรูปแบบตัวอย่าง กล่องชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI 305

ฉ2 แสดงรูปแบบตัวอย่าง การจัดวางอุปกรณ์ภายในกล่อง 305

ฉ3 แสดงรูปแบบตัวอย่าง โครงสร้างชุดฝึกด้านบน ด้านข้าง 306

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ฉ4 แสดงรูปแบบตัวอย่าง การติดตั้งอุปกรณ์ภายในชุดทดลอง 307

ฉ5 แสดงรูปแบบตัวอย่าง การติดตั้งอุปกรณ์ภายในชุดทดลอง 308

ฉ6 แสดงการติดตั้งสายอากาศแบบ YAGI 309

ฉ7 แสดงรูปกล่อง Transmission Line and Amtenna Lab 1 310

ฉ8 แสดงรูปกล่อง Transmission Line and Amtenna Lab 2 310

ฉ9 แสดงรูปกล่องเก็บอุปกรณ์สายอากาศและสายทำสัญญาณ 311

ฉ10 แสดงรูปสายอากาศแบบ YAGI ที่ต่อใช้งาน 311

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การประชุมคองเกรสนานาชาติ ด้านเทคนิคศึกษาและอาชีวศึกษา ครั้งที่ 2 ณ กรุงโซล ประเทศสาธารณรัฐเกาหลี เพื่อให้คำนิยามและกำหนดทิศทางใหม่เกี่ยวกับการจัดเทคนิคศึกษา และ อาชีวศึกษา (Technical and Vocational Education, TVE) เพื่อจะนำไปสู่การแก้ไขปัญหาการว่างงานและปัญหาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมในศตวรรษที่ 21 โดยกำหนดนิยามและนโยบายใหม่ด้าน TVEว่าต้องคำนึงถึงพัฒนาการด้านเทคโนโลยีและสภาพบริบททางสังคมของยุคสมัยที่กำลังก้าวเข้ามา ก่อให้เกิดสังคมข่าวสารข้อมูลเทคโนโลยีใหม่ ๆ ทางด้านการสื่อสารและระบบสารสนเทศ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมากในวิถีชีวิตของมนุษย์เกือบทั่วทุกแห่งของโลก เปลี่ยนสภาพการเรียนรู้ การทำงานและการมองโลกของการทำงาน เศรษฐกิจระบบตลาดเสรีทำให้หลายประเทศต้องเผชิญปัญหาการแข่งขันอันเนื่องมาจากการขาดประสิทธิภาพของระบบอุตสาหกรรม ซึ่งส่งผลให้ผลผลิตด้อยคุณภาพและมีต้นทุนสูง ทำให้ต้องหาพนักงานที่มีประสบการณ์และความสามารถใหม่ ๆ คนงานที่มีความรู้ทักษะและทัศนคติที่ล้าสมัยจะไม่เป็นที่ต้องการ และประสบปัญหาการว่างงานเพิ่มขึ้น TVE จึงต้องเตรียมประชากรรุ่นใหม่เพื่อให้สามารถทำงานในโลกที่มีการเรียนรู้ตลอดชีวิตได้ (กรมอาชีวศึกษา.2545)

การศึกษา เป็นหัวใจของการพัฒนาประเทศ และเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การอาชีวศึกษาถือว่าเป็นรากฐานอันสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมเพราะความเจริญของประเทศขึ้นอยู่กับทรัพยากรมนุษย์ที่มีคุณภาพ สามารถตอบสนองความต้องการของการขยายตัวด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม รวมทั้งรู้จักนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้เมื่อโลกเป็นสากลมากขึ้น การที่ประเทศไทยจะแข่งขันกับประเทศอื่นๆ ได้นั้น การอาชีวศึกษา จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการนำประเทศเข้าสู่การแข่งขันในโลกยุคคลื่นแห่งความรู้หรือยุคแห่งเทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology)

แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 9 (2545 – 2549) ในข้อ (2.3) มีจุดมุ่งหมายเพื่อเสริมสร้างความรู้ ความเข้าใจ และกำหนดแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนเกี่ยวกับการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่ยึดผู้เรียนสำคัญที่สุด โดยการทดลองปฏิบัติจริงเพื่อให้ผู้เรียนได้เรียนตามความถนัดและความสนใจ สามารถแสวงหาและสร้างความรู้ด้วยตนเองเพื่อนำไปสู่การรู้จักคิดวิเคราะห์ กลั่นกรอง เลือกรับข้อมูลข่าวสารและวัฒนธรรมใหม่ ๆ อย่างรู้เท่าทัน ควบคู่ไปกับการปรับปรุงวิธีการสอนและการวัดผล ให้สะท้อนถึงความรู้ ความเข้าใจ และระดับสติปัญญาของนักเรียน นักศึกษา คณะกรรมการการอาชีวศึกษาเป็นหน่วยงานหลักของรัฐที่มีหน้าที่ในการ

จัดการศึกษาวิชาชีพให้แก่นักเรียน นักศึกษา เยาวชนและประชาชน ได้จัดทำแผนพัฒนากำลังคนทั้งในระดับ กึ่งฝีมือ ระดับฝีมือ ระดับเทคนิค และระดับเทคโนโลยีที่มีคุณภาพ เพื่อให้เป็นไปตามเจตนารมณ์ของรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ. 2540 พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 และสอดคล้องตามความต้องการของการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ โดยได้จัดทำแผนพัฒนาการอาชีวศึกษาระยะที่ 9 (พ.ศ. 2545 – 2549) ได้กำหนดวิสัยทัศน์นโยบายตลอดจนแนะแนวการดำเนินการ จำนวน 5 ข้อ ซึ่งนโยบายข้อที่ 4 นั้นกล่าวถึงกระบวนการการเรียน การสอนอาชีวศึกษา โดยให้จัดกระบวนการเรียนรู้ด้วยการเชื่อมโยงกันเป็นองค์รวม หรือบูรณาการเพื่อพัฒนาให้ผู้เรียนเป็นคนเก่ง คนดีและมีความสุขเป็นนักวิชาชีพที่มีคุณภาพ

ดังนั้นคณะกรรมการการอาชีวศึกษาจึงปรับปรุงหลักสูตร ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 เพื่อให้มีความสอดคล้องกับวิสัยทัศน์และนโยบายของแผนพัฒนาการอาชีวศึกษา พ.ศ. 2545 – 2549 ส่งผลให้สถาบันอาชีวศึกษาทั่วประเทศ ต้องปรับกระบวนการเรียนการสอนใหม่เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการของหลักสูตร

สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ เป็นสาขาหนึ่งของหลักสูตรช่างอุตสาหกรรม ซึ่งมีหน้าที่ในการพัฒนากำลังคนในสาขางานอิเล็กทรอนิกส์ ให้มีความรู้ความสามารถในการเรียนรู้กระบวนการทำงานและเทคโนโลยีด้านสื่อสารโทรคมนาคม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ผู้ที่ประกอบวิชาชีพในสาขาดังกล่าวต้องเป็นผู้ที่มีการเรียนรู้ตลอดชีวิต

วิชาสายส่งและสายอากาศเป็นวิชาหลักที่สำคัญในสาขางานโทรคมนาคม ผู้เรียนในสาขานี้จำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้วิชาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอย่างดี จึงทำให้การเรียนในสาขาวิชาสายส่งและสายอากาศมีความยากลำบากในการทำความเข้าใจกับการเรียนโดยใช้ทฤษฎีเพียงอย่างเดียว ดังนั้น การเรียนภาคปฏิบัติจึงมีความสำคัญต่อวิชานี้เป็นอย่างมาก แต่สภาพปัญหาที่พบโดยทั่วไปของชุดทดลองที่ผู้วิจัยได้พบจากประสบการณ์การสอนในรายวิชานี้ มีปัญหาที่สำคัญ คือ ด้านชุดทดลองที่ใช้อยู่ปัจจุบัน มีสภาพแยกส่วนไม่สะดวกในการใช้งาน ไม่ครอบคลุมเนื้อหาในหลักสูตร มีวิธีการใช้งานที่ยุ่งยากซับซ้อนและไม่สะดวกในการบำรุงรักษา ด้านเนื้อหาและใบงานไม่ครอบคลุมตามคำอธิบายรายวิชา ไม่กระตุ้นให้ผู้เรียนนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตจริง และไม่เชื่อมโยงประสบการณ์จากบทเรียนกับการใช้งานจริง ด้านแบบประเมินผลไม่ครอบคลุมด้านกระบวนการและผลงาน ไม่มีการประเมินผลไปพร้อมกับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ และไม่สามารถประเมินพฤติกรรมการแสดงออกของผู้เรียนตามสภาพจริงได้

จากสาเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการสร้างชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในรายวิชาสายส่งและสายอากาศ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างกระบวนการเรียนรู้ ให้เป็นไปตามความต้องการของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 และเป็นแนวทางในการพัฒนาชุดทดลองในรายวิชาอื่นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ในรายวิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

1.2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ในรายวิชาสายส่งและสายอากาศตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI เป็นส่วนหนึ่งในรายวิชาสายส่งและสายอากาศตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ยึดแนวทางการจัดกระบวนการเรียนรู้ด้วยวิธี CIPPA MODEL (ทิศนา แขมมณี. 2541 : 28-31) ซึ่งมีสาระสำคัญ 5 ประการ คือ

1.4.1 กำหนดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ช่วยให้ผู้เรียนมีโอกาสสร้างความรู้ด้วยตนเอง

1.4.2 กำหนดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นในการแสวงหาความรู้

1.4.3 กำหนดกิจกรรมให้ผู้เรียนมีโอกาสเคลื่อนไหวร่างกายโดยทำกิจกรรมลักษณะต่างๆ

1.4.4 กำหนดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้เรียนรู้กระบวนการต่างๆ ซึ่งเป็นทักษะที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต

1.4.5 กำหนดกิจกรรมให้ผู้เรียนได้นำความรู้ไปประยุกต์ใช้งาน

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.5.1.1 ประชากร คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052304 สายส่งและสายอากาศ จำนวน 50 คน (งานทะเบียนวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์. 2/2548)

1.5.1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052304 สายส่งและสายอากาศ จำนวน 20 คน เลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มอย่างง่ายแบบจับสลาก

1.5.2 ออกแบบสร้างชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ในรายวิชา 31052304 วิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 ประกอบด้วย ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI แผนการสอน ใบความรู้ ใบงานการทดลอง แบบประเมินประจำหน่วยการเรียน แบบเฉลยใบงานและแบบเฉลยแบบประเมินประจำหน่วยการเรียน จำนวน 6 หน่วย ดังนี้

หน่วยการเรียนที่ 1 ระบบสายอากาศโทรทัศน์

หน่วยการเรียนที่ 2 คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน

หน่วยการเรียนที่ 3 การเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณระหว่างสายส่งและสายอากาศ

หน่วยการเรียนที่ 4 การใช้ BALUN และ STUB MATCHING

หน่วยการเรียนที่ 5 การแมทช์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณและการ STACKING สายอากาศ

หน่วยการเรียนที่ 6 การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI

1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัย

1.6.1 ชุดทดลอง หมายถึง ชุดทดลองที่ใช้ปฏิบัติการ การทดลองเรื่องสายอากาศแบบ YAGI วิชา 31052304 สายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 ซึ่งประกอบด้วย TRANSMISSION LINE AND ANTENNA อุปกรณ์ต่อพ่วงในระบบ ใบงานการทดลองจำนวน 6 หน่วยการเรียน

1.6.2 ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง คะแนนของนักศึกษาจากการปฏิบัติงานตามใบงานในชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

1.6.3 แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง เครื่องมือที่ใช้วัดผลกระบวนการทำงานและผลของงานที่ได้จากการปฏิบัติภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยใช้แบบตรวจรายการที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นประกอบด้วย แบบประเมินระหว่างปฏิบัติแต่ละหัวข้อใบงานและแบบประเมินขั้นสุดท้าย

1.6.4 ประสิทธิภาพของชุดทดลอง หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ของชุดทดลองซึ่งวัดได้จากผลการปฏิบัติงานของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดทดลองตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 (E_1 / E_2)

เกณฑ์กำหนด 80 ตัวแรก (E_1) หมายถึง ประสิทธิภาพของกระบวนการที่วัดได้ในชุดทดลองคิดเป็นร้อยละจากแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังใช้ชุดทดลองในแต่ละหน่วย

เกณฑ์กำหนด 80 ตัวหลัง (E_2) หมายถึง ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยสังเกตการปฏิบัติการทดลองขั้นสุดท้ายของนักศึกษาคิดเป็นร้อยละ

1.6.5 นักศึกษา หมายถึง นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์

1.6.6 ผู้ทรงคุณวุฒิ หมายถึง ผู้ที่มีประสบการณ์ในการสอน สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ไม่น้อยกว่า 5 ปี และมีวุฒิทางการศึกษาระดับปริญญาตรีขึ้นไป หรือผู้มีประสบการณ์ในการวิจัยพัฒนาบุคลากรและหลักสูตรสาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ซึ่งมีหัวข้อตามลำดับ ดังต่อไปนี้

2.1 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ พุทธศักราช 2546 และแผนการสอน

2.2 สายส่งและสายอากาศแบบ YAGI

2.3 กระบวนการเรียนรู้ด้วยวิธี CIPPA MODEL

2.4 การสอนภาคปฏิบัติ

2.5 การหาประสิทธิภาพชุดทดลอง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. 2546 และแผนการสอน

2.1.1 หลักการของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ปี 2546 มีดังนี้

2.1.1.1 เป็นหลักสูตรที่มุ่งผลิตและพัฒนาแรงงาน ระดับผู้ชำนาญการเฉพาะ สาขาวิชาชีพสอดคล้องกับตลาดแรงงาน สภาพเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม สามารถเป็นหัวหน้างานหรือเป็นผู้ประกอบการได้

2.1.1.2 เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีสมรรถนะในการประกอบอาชีพ มี ความรู้เต็มภูมิ ปฏิบัติได้จริงและเข้าใจชีวิต

2.1.1.3 เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้ผู้ประกอบการวิชาชีพ มีส่วนร่วมในการเรียนการสอนวิชาชีพ สามารถถ่ายโอนประสบการณ์การเรียนรู้จากสถานประกอบการ และสามารถสะสมการเรียนรู้และประสบการณ์ได้

2.1.2 จุดมุ่งหมายของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ปี 2546 มีดังนี้

2.1.2.1 เพื่อให้มี ความรู้ ทักษะพื้นฐานในการดำรงชีวิต สามารถศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม หรือศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น

2.1.2.2 เพื่อให้มีทักษะและสมรรถนะในงานอาชีพตามมาตรฐานวิชาชีพ

2.1.2.3 เพื่อให้สามารถบูรณาการความรู้ ทักษะจากศาสตร์ต่าง ๆ ประยุกต์ใช้ในงานอาชีพสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี

2.1.2.4 เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่อวิชาชีพ มีความมั่นใจ และภาคภูมิใจในงานอาชีพ รักงาน รักองค์กร สามารถทำงานเป็นหมู่คณะได้ดี และมีความภาคภูมิใจในตนเองต่อการเรียนวิชาชีพ

2.1.2.5 เพื่อให้มีปัญญา ใฝ่รู้ ใฝ่เรียน มีความคิดสร้างสรรค์ มีความสามารถในการจัดการ การตัดสินใจและแก้ปัญหา รู้จักแสวงหาแนวทางใหม่ ๆ มาพัฒนาตนเองประยุกต์ใช้ความรู้ในการสร้างงานให้สอดคล้องกับวิชาชีพ และการพัฒนางานอาชีพอย่างต่อเนื่อง

2.1.2.6 เพื่อให้มีบุคลิกภาพที่ดี มีคุณธรรม จริยธรรม ซื่อสัตย์ มีวินัย มีสุขภาพแข็งแรงทั้งร่างกายและจิตใจ เหมาะสมกับการปฏิบัติในอาชีพนั้น ๆ

2.1.2.7 เพื่อให้เป็นผู้มีพฤติกรรมทางสังคมที่ดีงามทั้งในการทำงาน การอยู่ร่วมกัน มีความรับผิดชอบต่อครอบครัว องค์กร ท้องถิ่นและประเทศชาติ อุทิศตนเพื่อสังคม เข้าใจและเห็นคุณค่าของศิลปวัฒนธรรมไทย ภูมิปัญญาท้องถิ่น ตระหนักในปัญหาและความสำคัญของสิ่งแวดล้อม

2.1.2.8 เพื่อให้ตระหนักและมีส่วนร่วมในการพัฒนา และแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจของประเทศ โดยเป็นกำลังสำคัญในด้านการผลิตและให้บริการ

2.1.2.9 เพื่อให้เห็นคุณค่าและดำรงไว้ซึ่งสถาบันชาติ ศาสนา และพระมหากษัตริย์ปฏิบัติตนในฐานะพลเมืองดีตามระบอบประชาธิปไตย อันมีพระมหากษัตริย์เป็นประมุข

2.1.3 จุดประสงค์ของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2546

ผู้ที่สำเร็จการศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ สามารถปฏิบัติงานระดับช่างเทคนิค ผู้ควบคุมงาน ผู้ช่วยวิศวกรหรือประกอบอาชีพส่วนตัว มีความรู้ ความสามารถ เจตคติและประสบการณ์ด้านต่าง ๆดังต่อไปนี้

2.1.3.1 เพื่อให้มีความรู้และทักษะพื้นฐานเกี่ยวกับภาษา สังคม มนุษยศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ นำไปใช้ในการค้นคว้า พัฒนาตนเองและวิชาชีพอิเล็กทรอนิกส์ให้เกิดความเจริญก้าวหน้า

2.1.3.2 เพื่อให้มีความรู้และทักษะในหลักการและกระบวนการทำงานพื้นฐานของช่างเทคนิคที่เกี่ยวกับการบริหารจัดการและการวางแผนในงานอุตสาหกรรม และสามารถติดตามความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี นำมาพัฒนางานอาชีพอิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิผล

2.1.3.3 เพื่อให้มีความคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหา สร้างสรรค์ และนำเทคโนโลยีมาใช้ในการพัฒนางานอิเล็กทรอนิกส์

2.1.3.4 เพื่อให้มีบุคลิกภาพที่ดี มีความรับผิดชอบต่อตนเอง ครอบครัวและสังคม มีคุณธรรมและมีกิจนิสัยที่ดีในงานอาชีพ

2.1.3.5 เพื่อให้สามารถประกอบอาชีพในสถานประกอบการอุตสาหกรรมสร้างสรรค์หรือประกอบอาชีพอิสระในสาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์

2.1.4 คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายส่งวิทยุ เช่น Z_o , ค่า L , ค่า C, Velocity Factor, Standing Wave Ratio (SWR), Smith Chart และการประยุกต์ใช้งานรวมทั้งการออกแบบ Phasing Line การ Radiation ของสายอากาศ ลักษณะและคุณสมบัติของสายอากาศชนิดต่างๆ หลักการออกแบบสายอากาศ อุปกรณ์ประกอบสายอากาศ การวัดและการทดสอบระบบสายอากาศ รวมทั้งการติดตั้ง

2.1.5 จุดประสงค์รายวิชาสายส่งและสายอากาศ (Transmission Lines and Antennas Systems) รหัสวิชา 31052304

2.1.5.1 เพื่อให้มีความเข้าใจ คุณลักษณะสายส่งและสายอากาศในระบบโทรคมนาคม

2.1.5.2 เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานวัดและทดสอบระบบสายส่งและสายอากาศ

2.1.5.3 เพื่อให้มีกิจนิสัยในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบ มีจริยธรรมในการปฏิบัติงาน

2.1.6 มาตรฐานรายวิชา

2.1.6.1 วิเคราะห์คุณลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

2.1.6.2 ทดสอบคุณสมบัติสายส่งวิทยุ เช่น Z_o, ค่า L, ค่า C, ค่า SWR

2.1.6.3 ออกแบบ ติดตั้ง วัดและทดสอบระบบสายส่งและสายอากาศและ Phasing Line

2.1.6.4 ประยุกต์ใช้งานสายส่งและสายอากาศโดยคำนึงถึงการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศและการใช้อุปกรณ์ประกอบ

2.1.7 แผนการสอน

ตารางที่ 2.1 แผนการสอน รหัสวิชา 31052304 ชื่อวิชา สายส่งและสายอากาศ

หน่วยที่	สัปดาห์ที่	ชื่อหน่วย	จำนวนคาบสอน
1	1-5	1. ความรู้พื้นฐานการแพร่กระจายคลื่น	15
		1.1 ลักษณะของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า	3
		1.2 คุณสมบัติของคลื่นสนามแม่เหล็ก	3
		1.3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางที่เป็นลวดตัวนำ	3
		1.4 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางที่เป็นอากาศ	3
		1.5 การแพร่กระจายคลื่น	3
2	6-8	2. สายนำสัญญาณ	9
		2.1 ชนิดของสายนำสัญญาณ	1
		2.2 คุณสมบัติต่างๆ ของสายนำสัญญาณ	2
		2.3 พารามิเตอร์ของสายนำสัญญาณ	3
		2.4 การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของสายนำสัญญาณชนิดต่างๆ	2
		2.5 การเดินทางของคลื่นในสายนำสัญญาณ	1
3	9-10	3. สายอากาศโทรทัศน์	6
		3.1 ชนิดของสายอากาศโทรทัศน์	1
		3.2 สายอากาศแบบไดโพล	1
		3.3 แผงรับสัญญาณแบบ YAGI DIPOLE	1
		3.4 สายนำสัญญาณโทรทัศน์	1
		3.5 ตัวปรับอิมพีแดนซ์สายอากาศ	1
		3.6 การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์	1
4	11-12	4. คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงานของสายอากาศ	9
		4.1 คุณสมบัติพื้นฐานในการแพร่กระจายพลังงาน	1
		4.2 อัตราส่วนฟรอนต์ทูแบค	2
		4.3 บีมวีดท์	2
		4.4 อัตราขยายของสายอากาศ	2
		4.5 การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ] YAGI	2

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

หน่วยที่	สัปดาห์ที่	ชื่อหน่วย	จำนวนคาบสอน
5	13-15	5. การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณระหว่างสายส่งและสายอากาศ	9
		5.1 กำลังประสิทธิผลของสายอากาศ	1
		5.2 ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นและประสิทธิภาพสายอากาศ	2
		5.3 ช่วงความถี่และอัตรา SWR	2
		5.4 การสูญเสีย	2
		5.5 ขีดจำกัดของกำลังคลื่น	1
		5.6 การแมทช์สายนำสัญญาณ	1
6	16	6. การใช้ Balun และ Stub Matching	3
		6.1 บาลัน	1
		6.2 การแมทช์โดยวิธีสตับ	2
7	17	7. การแมทช์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณและการ Stacking สายอากาศ	6
		7.1 การแมทช์โดยตรง	1
		7.2 การแมทช์โดยใช้สายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$	2
		7.3 วิธีแมทช์รูปตัวที	1
		7.4 แมทช์แบบแกมม่าและ แบบโอเมก้า	2
8	18-19	8. การออกแบบสายอากาศ ชนิดต่างๆ	3
รวม			60

จากตารางที่ 2.1 แผนการสอนวิชา สายส่งและสายอากาศ ผู้วิจัยได้นำหน่วยที่ 3 – 8 มาสร้างชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ส่วนหน่วยที่ 1 – 2 เป็นการทบทวนพื้นฐานความรู้เดิมของผู้เรียน จึงไม่ได้นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้

2.2 สายส่งและสายอากาศแบบ YAGI

2.2.1 ชนิดของสายอากาศโทรทัศน์

สายอากาศของเครื่องรับโทรทัศน์เป็นตัวรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสัญญาณโทรทัศน์ที่ส่งมาจากสถานีส่ง แล้วเปลี่ยนให้เป็นคลื่นไฟฟ้าความถี่สูงส่งเข้าไปในจูนเนอร์ของเครื่องรับโทรทัศน์

ในปัจจุบันสายอากาศที่ใช้ทั่วไป จะทำจากอะลูมิเนียม เพราะมีน้ำหนักเบาและนำสัญญาณได้ดี ซึ่งมี 2 แบบคือ สายอากาศภายในกับสายอากาศที่อยู่ภายนอกบ้าน

สายอากาศภายในนิยมเรียกว่า สายอากาศหนวดกุ้งหรือสายอากาศหูกระต่าย อาจจะทำติดไว้กับตัวเครื่องรับโทรทัศน์หรือแยกต่างหากวางไว้ใกล้ ๆ หรือบนเครื่องรับโทรทัศน์ก็ได้ สายอากาศแบบหนวดกุ้งอาจจะมี 1 อัน หรือ 2 อัน เหมาะกับบริเวณที่มีสัญญาณโทรทัศน์แรง ๆ การใช้ก็เพียงแต่ชักสายขึ้นมาแล้วเอียงหามุมและทิศทางที่ภาพชัด การหดสายให้สั้นหรือดึงออกให้ยาวรวมกับมุมที่สายอากาศมีผลต่อการรับช่องต่าง ๆ ไม่เท่ากัน เช่น ถ้าช่องโลว์แบนด์ (2–3–4) จะต้องดึงสายออกให้ยาวและมุมกว้าง ส่วนช่องไฮแบนด์ (ช่อง 5 ถึง 12) สายต้องหดให้สั้นหรือมุมแคบจึงจะรับได้ดี

สายอากาศที่อยู่ภายนอกบ้านจะทำเป็นแผงรับสัญญาณแบบต่างๆ เช่น แบบไดโพล แบบยากิไดโพล แบบล็อกพิริออดิก แบบวงกลม เป็นต้น แต่แบบที่มีประสิทธิภาพสูงและนิยมมากที่สุดคือ แบบยากิ

แผงรับสัญญาณแบบยากิที่ใช้กับเครื่องรับโทรทัศน์แบ่งเป็น 2 ย่านความถี่คือ แผงรับสัญญาณย่าน VHF กับแผงรับสัญญาณย่าน UHF ซึ่งถ้าจะแบ่งย่อยลงไปอีกก็ได้ เช่น

2.2.1.1 แผงรับสัญญาณเฉพาะช่อง ถูกออกแบบให้รับความถี่โทรทัศน์ช่องใดช่องหนึ่งโดยเฉพาะ เช่น แผงรับสัญญาณ VHF ของช่อง 2, ช่อง 3, ช่อง 4, ช่อง 5 ถึงช่อง 12 แผงแบบนี้จะรับได้สัญญาณแรงที่สุดเพียงช่องเดียวจึงป้องกันการรบกวนจากช่องอื่นได้ แต่ก็มีข้อเสีย คือ ต้องติดตั้งแผงรับสัญญาณเท่ากับจำนวนช่องที่ต้องการรับ ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและการติดตั้งยุ่งยาก เหมาะกับพื้นที่ที่สัญญาณโทรทัศน์ช่องต่าง ๆ มาจากหลายทิศทาง

2.2.1.2 แผงรับสัญญาณ VHF รวมช่อง ใช้รับสัญญาณได้ทั้งไฮแบนด์และโลว์แบนด์ครอบคลุมความถี่โทรทัศน์ตั้งแต่ช่อง 2 ถึงช่อง 12 ประหยัดค่าใช้จ่ายเพราะติดตั้งแผงรับอันเดียวสามารถรับได้ทุกช่อง เหมาะกับบริเวณที่มีสัญญาณโทรทัศน์ทุกช่องมาในทิศทางเดียวกัน

2.2.1.3 แผงรับสัญญาณ VHF โลว์แบนด์ เป็นแผงรับสัญญาณที่ออกแบบให้สามารถรับความถี่โทรทัศน์ช่อง 2 ถึงช่อง 4 มีความแรงของแผงรับค่อนข้างมากอาจมีส่วนประกอบ 2 ชิ้น 3 ชิ้น หรือ 5 ชิ้น

2.2.1.4 แผงรับสัญญาณ VHF ไฮแบนด์ ใช้สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 5 ถึงช่อง 12 มีจำนวนส่วนประกอบต่าง ๆ กันตั้งแต่ 2 ชิ้นจนถึง 29 ชิ้น

2.2.1.5 แผงรับสัญญาณ UHF ใช้สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ย่าน UHF มีขนาดของส่วนประกอบสั้นมาก ออกแบบให้รับได้หลายช่องในย่านนี้หรือให้รับเฉพาะช่องก็ได้ เช่น รับช่อง 26 ช่อง 29 หรือช่อง 47 เป็นต้น

2.2.2 สายอากาศแบบไดโพล

สายอากาศแบบไดโพล (DIPOLE ANTENNA) ที่ใช้กันอยู่จะเป็นชนิดครึ่งความยาว คลื่นพบเห็นได้ 2 ลักษณะคือ ไดโพลปลายเปิดกับไดโพลปลายปิด ไดโพลปลายเปิดจะมีอิมพีแดนซ์ระหว่างขั้วต่อสายนำสัญญาณประมาณ 75 โอห์ม ส่วนไดโพลปลายปิดจะมีอิมพีแดนซ์ระหว่างขั้วต่อสายนำสัญญาณประมาณ 300 โอห์ม ดังรูปที่ 2.1

(ก) ไดโพลปลายปิดอิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม (ข) ไดโพลปลายเปิดอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม

รูปที่ 2.1 แสดงสายอากาศไดโพล

ลักษณะของตัวนำไดโพลจะมีผลต่อคลื่นไฟฟ้าโดยมีลักษณะเป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม LC สัญญาณความถี่ที่จะไหลในไดโพลได้มากที่สุดคือ ความถี่รีโซแนนซ์ จากการทดลองค่าความยาวของไดโพลที่ได้ผลดีและประหยัดคือ ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ในการรับสัญญาณนั้น ไดโพลจะรับสัญญาณในทิศทางตั้งฉากกับไดโพลทั้ง 2 ทางได้แรง นั่นก็คือ คลื่นโทรทัศน์ที่แพร่กระจายมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเดินทางมาตัดกับไดโพลแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในไดโพลประมาณ 5 – 50 μV สัญญาณจะต้องส่งเข้าสายนำสัญญาณไปเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ต่อไป

2.2.3 แผงรับสัญญาณแบบยากิไดโพล

แผงรับสัญญาณแบบยากิไดโพล (YAGI DIPOLE) เป็นไดโพลครึ่งความยาวคลื่นที่พัฒนาขึ้นมาให้มีอัตราการขยายสูง และมีทิศทางการรับคลื่นรวมทั้งตัดสัญญาณรบกวนด้านหลังได้ ดังนั้น จึงมีชิ้นส่วนหรืออิลิเมนต์ เพิ่มขึ้นอีก 2 ส่วนคือ ส่วนสะท้อนคลื่นหรือรีเฟลกเตอร์ มีความยาวกว่าไดโพลประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ วางห่างจากไดโพลประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวคลื่น จะมีผลให้ไดโพลรับคลื่นได้ด้านเดียว คลื่นที่เดินทางมาจากข้างหน้าจะเข้าไดโพลและบางส่วนจะสะท้อนจากรีเฟลกเตอร์มาเสริม ทำให้รับคลื่นด้านหน้าได้แรงและตัดการรบกวนด้านหลัง อิลิเมนต์อีกส่วนหนึ่งเป็นตัวชี้นำหรือไดเรกเตอร์ สั้นกว่าไดโพลประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ วางไว้ด้านหน้าของไดโพลเป็นระยะ ๆ มีได้หลายอัน จะทำให้มุมการรับคลื่นด้านหน้าของไดโพลยาวออกไป อัตราการขยายของแผงรับสัญญาณจะสูงขึ้น (HIGH GAIN)

แผงรับสัญญาณจะถูกเรียกขนาดแบบท้องตลาดตามจำนวนส่วนประกอบ เช่น แบบ 2E จะมี 2 ชิ้นคือ ไดโพลกับรีเฟลกเตอร์ แบบ 3E จะมี 3 ชิ้นคือ เพิ่มไดเรกเตอร์อีก 1 ชิ้น แผงรับสัญญาณแบบอัตราการขยายสูงที่ใช้ในต่างจังหวัดจะยาวมาก เช่น ขนาด 15E หรือ 29E เป็นต้น

อัตราการขยายของแผงรับสัญญาณที่ความถี่หนึ่งจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่อไปนี้

1. ความยาวของตัวไดโพลหรือไดรเวนอิลิเมนต์
2. ความยาวของตัวสะท้อนคลื่น
3. ความยาวของตัวชี้นำและจำนวนของตัวชี้นำ
4. ระยะห่าง (SPACING) ระหว่างการวางส่วนประกอบ

การหาขนาดของความยาวของแผงรับสัญญาณ

1. ความยาวของไดโพล = ความยาวคลื่น

$$= \frac{\lambda}{2}$$

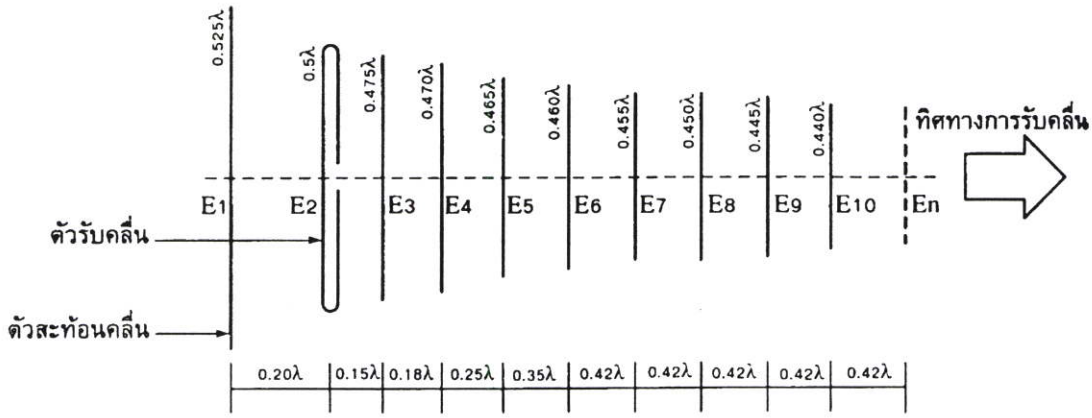
เมื่อ λ (เมตร) $= \frac{300}{f}$

โดยที่ f คือความถี่ของช่องที่รับ มีหน่วยเป็น MHz

2. ความยาวของตัวสะท้อนคลื่นให้ยาวกว่าไดโพล 5 เปอร์เซ็นต์
3. ความยาวของตัวชี้นำให้สั้นกว่าไดโพล 5 เปอร์เซ็นต์ อันต่อไปสั้นลงอันละ 1 เปอร์เซ็นต์
4. ระยะห่างระหว่างส่วนประกอบ

E1 – E2	=	0.2 λ
E2 – E3	=	0.15 λ
E3 – E4	=	0.18 λ
E4 – E5	=	0.25 λ
E5 – E6	=	0.35 - 0.42 λ
E ต่อ ๆ ไป	=	0.42 λ

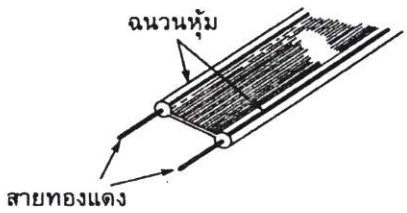
ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงแผงรับสัญญาณโทรทัศน์แบบอัตราขยายสูง

2.2.4 สายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณ (FEEDER LINE) ใช้สำหรับนำสัญญาณจากไดโพลเพื่อป้อนเข้าภาคขยายอาร์เอฟในจูนเนอร์ของเครื่องรับโทรทัศน์ สายนำสัญญาณที่ใช้กันอยู่จะมี 2 แบบคือ สายแบบทวินลีด หรือริบบอนอิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม กับสายกลมโคแอกเชียลอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม ดังรูปที่ 2.3



(ก) สายแบนริบบอน 300 โอห์ม

(ข) สายกลมโคแอกเซียล 75 โอห์ม

รูปที่ 2.3 แสดงสายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณชนิดกลมโคแอกเชียล มีลักษณะโครงสร้างเป็นสายซีลด์มีทองแดงตัวนำสัญญาณอยู่ภายในคั่นด้วยฉนวนมีสายทองแดงถักเป็นตาข่ายหุ้มเป็นซีลด์เพื่อปกป้องสัญญาณรบกวนต่างๆ แล้วหุ้มด้วยฉนวนภายนอกอีกชั้นหนึ่ง ในภาวะปกติจะมีการสูญเสียในสายมากกว่า สายริบบอน สายแบบนี้ราคาแพงกว่าแบบริบบอนและขึ้นอยู่กับขนาด เพราะท้องตลาดผลิตออกมาหลายขนาด แบบเส้นโตจะมีราคาแพงและนำสัญญาณได้ดีกว่า รวมทั้งเกิดการสูญเสียน้อย

2.2.5 ตัวปรับอิมพีแดนซ์สายอากาศ

การเชื่อมโยงสัญญาณจากแผงรับสัญญาณโทรทัศน์ไปตามสายนำสัญญาณเพื่อเข้าถึงจูนเนอร์นั้น อุปกรณ์ทุกชิ้นควรจะต้องมีอิมพีแดนซ์เท่ากัน จึงจะทำให้การส่งสัญญาณมีประสิทธิภาพ

สูงสุด กรณีที่ตัวสายอากาศไดโพล สายนำสัญญาณและจูนเนอร์เครื่องรับโทรทัศน์มีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน จะต้องใช้ตัวปรับอิมพีแดนซ์หรือที่นิยมเรียกว่า ตัวแมทช์ชิ่ง เป็นตัวช่วย การที่อุปกรณ์มีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากันก็อาจจะเรียกว่ามันไม่แมทช์กัน ดังนั้น ตัวแมทช์ชิ่งจึงมีหน้าที่ทำให้อิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากันได้พอดีเพื่อการส่งกำลังงานได้สูงสุด

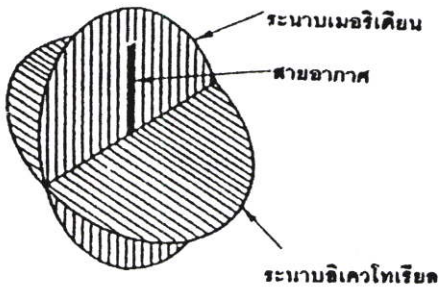
เครื่องรับโทรทัศน์จะมีที่ต่อสายสัญญาณเข้า 75 โอห์ม หรือ 300 โอห์ม บางเครื่องจะสามารถเลือกต่อเข้าได้ทั้ง 75 โอห์มและ 300 โอห์ม ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงแผงรับสัญญาณและการต่อสายนำสัญญาณ

กรณีใช้สายนำสัญญาณแบบริบบอนที่มีอิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม ด้านบนที่ต่อกับแผงรับสัญญาณโทรทัศน์สามารถต่อเข้ากับไดโพลได้โดยตรง เพราะอิมพีแดนซ์ 300 โอห์มเท่ากันพอดี ส่วนปลายทางสายด้านล่างนั้น ถ้าเครื่องรับโทรทัศน์มีขั้วต่อสัญญาณเข้าเป็น 300 โอห์มก็สามารถต่อเข้าโดยตรง แต่ถ้าเครื่องรับโทรทัศน์มีขั้วต่อสัญญาณเข้าเป็น 75 โอห์ม ต้องใช้หม้อแปลงแมทชิ่งจาก 300 โอห์มเป็น 75 โอห์ม ต่อจากสายนำสัญญาณ 300 โอห์มแปลงเป็น 75 โอห์ม ก่อนเข้าเครื่องรับโทรทัศน์

2.2.6 คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน (RADIATION PATTERN)

สายอากาศทุกแบบจะมีคุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงานไปได้มากในบางทิศทาง (เมื่อเทียบกับทิศทางรอบสายอากาศ) คุณสมบัติเช่นนี้เรียกว่า ไดเร็คติวิตี้ จัดว่าสำคัญมากสำหรับการส่งสัญญาณไปยังทิศทางที่ต้องการให้มีขนาดมากกว่าทิศทางที่ไม่ต้องการ ไดเร็คติวิตี้ของสายอากาศแสดงโดยใช้รูปแบบการแพร่คลื่น (RADIATION PATTERN)

รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศ เป็นรูปกราฟที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศตามระยะทางที่ห่างออกไปรอบตัว และเนื่องจากมีการแพร่คลื่นไปทุกทิศทางรอบตัวจึงต้องกำหนดระนาบในการพิจารณารูปแบบคลื่น โดยตกลงกันให้มีใช้อยู่ 2 ระนาบ ดังรูปที่ 2.4



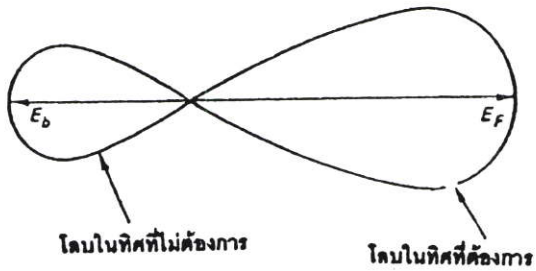
รูปที่ 2.4 แสดงระนาบเมอริเดียนและอิเควโทเรียลของสายอากาศ

ระนาบเมอริเดียน คือ ระนาบตามแนวแกน ของสายอากาศระนาบอิเควโทเรียล คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวสายอากาศ ยกตัวอย่าง เช่น สายอากาศชนิดแนวตั้ง (VERTICAL) อธิบายได้ว่า ระนาบเมอริเดียนมีทิศตั้งฉากกับพื้นโลก และระนาบอิเควโทเรียลมีทิศแนวนอน รูปแบบ

การแพร่คลื่นสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพของสายอากาศได้ดี โดยต้องเป็นในสภาพที่ติดตั้งห่างจากวัสดุต่าง ๆ เช่น ตึก อาคาร หรือพื้นดินที่อาจทำให้เกิดคลื่นสะท้อนขึ้นและมีผลต่อรูปแบบได้

2.2.7 อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบค (FRONT TO BACK RATIO)

รูปแบบการแพร่คลื่นส่วนใหญ่แล้วจะมีไดเร็คติวิตี้ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศอื่น ดังนั้น อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบคของสายอากาศ คือ อัตราส่วนของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศโดยคิดจากทิศที่ต้องการกับทิศที่ไม่ต้องการ (ตรงกันข้าม) ดังรูปที่ 2.5

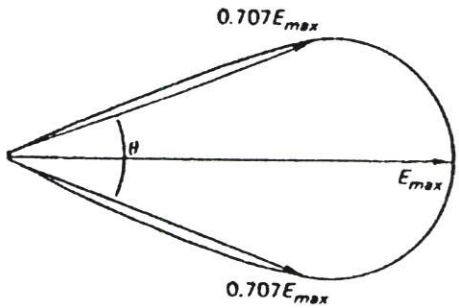


รูปที่ 2.5 แสดงอัตราส่วนฟรอนด์ทูแบคของสายอากาศ

2.2.8 บีมวิดท์ (BEAMWIDTH)

จัดเป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น เพื่ออธิบายถึงไดเร็คติวิตี้ของสายอากาศได้ดี โดยกำหนดให้มีหน่วยเป็นมุมที่คิดจากกรณีดังนี้ (มีความหมายเหมือนกันทุกกรณี) ดังรูปที่ 2.6

- ที่จุดซึ่งมีค่าพลังงานในการแพร่คลื่นลดลงเหลือครึ่งหนึ่งจากค่าสูงสุด
- หรือจุดที่ค่าความเข้มสนามเหลือ $1/\sqrt{2}$ หรือ 0.707 เท่าของค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด
- หรือจุด 3 dB บนรูปแบบการแพร่คลื่น



รูปที่ 2.6 แสดงบีมวิดท์ของสายอากาศ

2.2.9 อัตราขยายของสายอากาศ

ค่านี้ไม่ใช่ค่าอัตราส่วนระหว่างพลังงานเอาท์พุทต่อด้านอินพุท แต่เป็นอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้วัดคุณสมบัติไดเร็คติวิตี้ และสามารถระบุถึงปริมาณของการแพร่คลื่นมีมากใน

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ทิศทางใด การคิดค่าอัตราขยายของสายอากาศจะวัดเทียบกับสายอากาศอ้างอิงโดยอัตราขยายของสายอากาศส่งคือ ค่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มของสนามไฟฟ้าตามทิศที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด เทียบกับค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่จุดเดียวกันของสายอากาศอ้างอิง หรืออาจแสดงในรูปอัตราส่วนของค่าพลังงานที่ต้องใช้ส่งอากาศของสายอากาศทั้งสอง เพื่อให้เกิดความเข้มสนามขนาดเท่ากัน (ณ จุดเดียวกัน) ในทิศทางที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด หรืออัตราขยายของสายอากาศรับคือ อัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มสนามของสายอากาศทดสอบกับสายอากาศอ้างอิง ณ จุดตั้งสายอากาศที่เดียวกัน

การใช้สายอากาศอ้างอิงมักเป็นไดโพลขนาด $\lambda/2$ หรือ แบบไอโซทรอปิก ซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ กระจายคลื่นได้รอบตัวทุกทิศในปริมาณเท่ากัน (ในความเป็นจริงเราไม่สามารถสร้างสายอากาศไอโซทรอปิกได้ มีใช้เฉพาะเป็นหลักการงานสายอากาศเท่านั้น) มีการทดลองจนได้ผลสรุปว่าอัตราขยายของสายอากาศไดโพลขนาด $\lambda/2$ เทียบค่ากับสายอากาศไอโซทรอปิกได้มากกว่าอยู่ 1.64 เท่า หรือ 2.15 dB

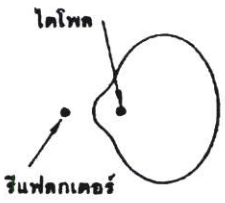
2.2.10 สายอากาศแบบยากิ (YAGI ANTENNA)

เราสร้างสายอากาศยากิจากไดโพลแบบ $\lambda/2$ และพาราซิติกอีลีเมนท์ โดยการอธิบายความหมายของพาราซิติกอีลีเมนท์คือ ส่วนของสายอากาศที่ไม่ได้ต่อโดยตรงกับสายนำสัญญาณจากเครื่องรับหรือเครื่องส่ง แต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหรือแรงดันบนตัวเองได้ และสายอากาศที่นำมาใช้งานร่วมกับตัวพาราซิติก เรียกว่า พาราซิติกอาร์เรย์

รีเฟลกเตอร์มีผลต่อรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพลแบบ $\lambda/2$ เนื่องจากมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกเหนี่ยวนำที่มันมีผลให้ตัวรีเฟลกเตอร์สามารถแพร่คลื่นเองได้ตัวแปรที่มีผลต่อรูปแบบการแพร่คลื่นมี

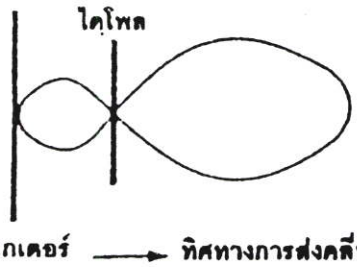
1. ความยาวของรีเฟลกเตอร์
2. ระยะห่างจากไดโพล

ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$ และรีเฟลกเตอร์ในระนาบแนวราบ

63500

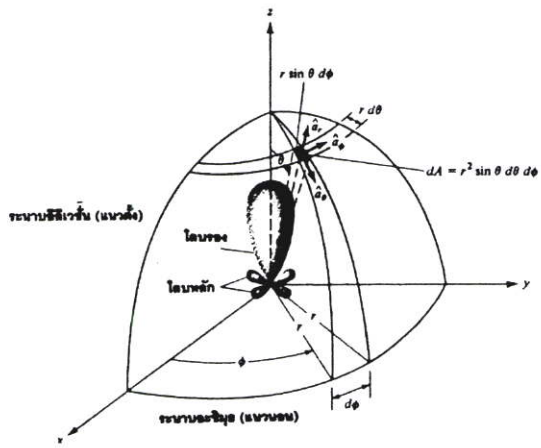


รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$ และรีเฟลกเตอร์ในระนาบแนวตั้ง

จากทั้งสองรูปเห็นได้ชัดว่า ไดเร็คติวิตี้ของอาร์เรย์แบบนี้ดีกว่าไดโพลอย่างเดียว เหตุที่รีเฟลกเตอร์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนี้อธิบายได้ว่าเมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้า (ที่ความถี่รีโซแนนซ์) และกระแสให้กับไดโพลจะมีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปทุกทิศในแนวตั้งฉากกับไดโพล พลังงานบางส่วนเดินทางมารีเฟลกเตอร์ และเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นซึ่งมีเฟสตาม หลังแรงดันไฟฟ้าส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่โดยคิดจากระยะห่างของอีลีเมนท์ เช่น ถ้าระยะห่างเท่ากับ 0.15 λ ทำให้ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่รีเฟลกเตอร์มีเฟสตามหลังส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่ 180° สิ่งนี้มีผลต่อกระแสในทำนองเดียวกัน

2.2.11 รูปแบบการแพร่คลื่น

เป็นการเขียนคุณสมบัติต่างๆในการแพร่คลื่นลงเป็นภาพขึ้นมา ซึ่งสามารถแสดงถึงความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น, ความเข้มสนาม, เฟส หรือโพลาไรเซชั่นได้ คุณสมบัติเหล่านี้มีลักษณะการกระจายค่าแบบ 3 มิติ จึงใช้แกนโคโอดิเนตแบบ 3 มิติ (X,Y,Z) แทนได้ ดังรูปที่ 2.9

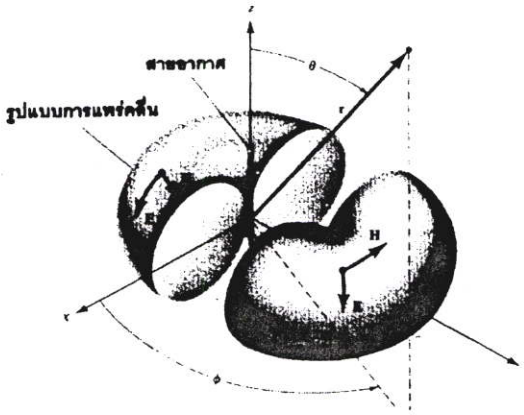


รูปที่ 2.9 แสดงแกนโคโอดิเนตในการวิเคราะห์สายอากาศ

2.2.12 รูปแบบไอโซทรอปิก, ไดเร็คชั่นแนล และออมิไดเร็คชั่นแนล

ไอโซทรอปิก คือสายอากาศในทางทฤษฎีที่สามารถแพร่คลื่นในทุกทิศทางด้วยความเข้มสนามเท่ากัน

ไดเร็คชั่นแนล คือคุณสมบัติในการแพร่คลื่นหรือรับคลื่นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งได้ดีกว่าทิศทางอื่น ยกตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเร็คชั่นแนลได้ ดังรูปที่ 2.10

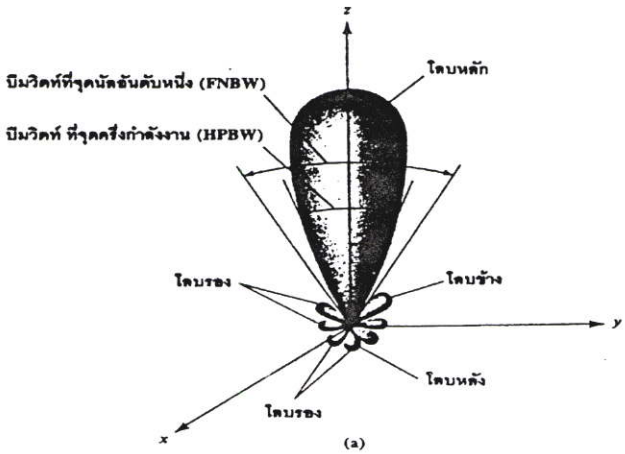


รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเร็คชั่นแนล

จากรูปวิเคราะห์ได้ว่า ไม่มีการไดเร็คชั่นแนลในระนาบแนวนอน [f (∅) ,θ = ค่าคงที่] และมีไดเร็คชั่นแนลในระนาบแนวตั้ง [g (∅) , θ = ค่าคงที่] เราเรียกรูปแบบการแพร่คลื่นในลักษณะนี้ว่า ออมิไดเร็คชั่นแนล ซึ่งหมายถึง " รอบตัว" ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้ดีตามแนวราบ

2.2.13 ส่วนต่างๆ ในรูปแบบการแพร่คลื่น

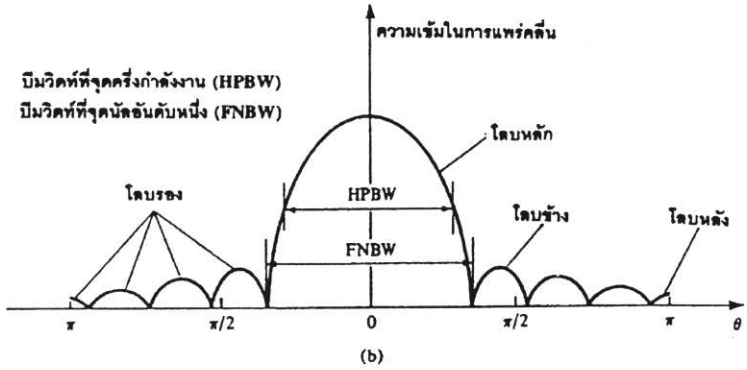
แต่ละส่วนของรูปแบบการแพร่คลื่นเรียกว่า โลบ ซึ่งยังแบ่งย่อยเป็น โลบหลัก, โลบรอง, โลบข้าง และโลบหลังอีกด้วย ดังรูปที่ 2.11



(a) แสดงโลบและบีมวิดท์ (แบบ 3 มิติ)

(b) แสดงระดับกำลังคลื่น และโลบต่างๆ (แบบ 2 มิติ)

รูปที่ 2.11 แสดงส่วนต่างๆ ของรูปแบบการแพร่คลื่น



รูปที่ 2.11 (ต่อ)

อธิบายจากรูปได้ว่า ความหมายของโลบ คือ ส่วนของรูปแบบการแพร่คลื่นที่มีความเข้มของกำลังคลื่นสูง (รอบๆ เป็นความเข้มต่ำ)

ในรูปที่ 2.11 (a) เป็นการเขียนรูปบนแกนโพลาร์ 3 มิติ ที่มีโลบอยู่หลายขนาดส่วนรูปที่ 2.11 (b) เป็นการเขียนในลักษณะแกน 2 มิติ

โลบหลัก (MAJOR LOBE) หรืออาจเรียกว่า บีมหลัก หมายถึง โลบที่มีการแพร่ไปในทิศทางที่มีการแพร่มากที่สุด ในรูปที่ 2.11 (a) โลบหลักมีทิศตามจุด $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางแบบบีมลำคลื่นมากกว่าหนึ่ง จะมีโลบหลักมากกว่าหนึ่งโลบได้

โลบรอง (MINOR LOBE) คือ โลบอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลบหลักในรูปที่ 2.11 (a) และ 2.11 (b) ทุกโลบยกเว้นโลบหลัก เราระบุเป็นโลบรองได้

โลบข้าง (SIDE LOBE) คือ โลบที่อยู่ในทิศทางอื่น นอกเหนือไปจากทิศทางของโลบหลัก (ทั่วไปแล้วโลบข้างจะอยู่ติดกับโลบหลัก และมีทิศทางรอบบีมหลัก)

โลบหลัง (BACK LOBE) คือ โลบรองที่มีทิศตรงข้ามกับโลบหลัก (ต่างกัน180°) เราพบว่าโลบรองจะเกิดในทิศที่ไม่ต้องการเสมอ จึงควรลดขนาดให้น้อยที่สุด สำหรับโลบข้างจัดเป็นโลบรองที่มีขนาดมากที่สุด (ต้องลดขนาดโลบข้างลง)

โดยทั่วไปถ้าระดับของโลบข้างมีค่าประมาณ –20 dB หรือน้อยกว่านี้จะไม่มีผลต่อการใช้งานมากนักจุดที่รับสัญญาณได้เท่ากับศูนย์ (ถึงแม้จะรีโซแนนซ์กับความถี่ในการส่ง) เรียกว่า นัล

2.2.14 กำลังส่งประสิทธิผล (EFFECTIVE RADIATION POWER)

ในทางทฤษฎีสายอากาศไอโซทรอปิก มีคุณสมบัติแพร่กระจายพลังงานได้ทุกทิศรอบตัวและมีขนาดความเข้มสนามเท่ากันหมดตามระยะทางรอบสายอากาศ ส่วนสายอากาศที่ใช้งานจริงทุกชนิดจะไม่มีคุณสมบัติเช่นนี้อยู่ โดยมีการอัดคลื่นวิทยุไปในทิศใดทิศหนึ่งเท่านั้น

ดังนั้น สรุปได้ว่า สายอากาศที่ใช้งานจริงต้องการกำลังที่ป้อนให้สายอากาศน้อยกว่าแบบไอโซทรอปิก ในการสร้างความเข้มสนามค่าเท่ากัน ณ จุดเดียวกัน ตามทิศทางที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด

กำลังประสิทธิผล หรือ ERP ของสายอากาศ หมายถึง ค่าพลังงานส่วนที่ไอโซทรอปิกใช้สร้างความเข้มสนามขนาดเท่ากับสายอากาศใช้งานจริง ณ จุดเดียวกัน หรือในอีกนัยคือ ถ้าเราใช้สายอากาศที่มีอัตราขยายกำลังของคลื่นวิทยุที่ออกอากาศจะถูกเพิ่มให้มากกว่ากำลังส่งของเครื่องส่ง ค่าที่มากขึ้นนี้เรียกว่า ERP

ในการคำนวณ ERP ของสายอากาศคิดจากกำลังส่งทั้งหมดที่ถูกส่งให้สายอากาศ (P_1) คูณกับอัตราขยายของสายอากาศ (G) ได้สูตรว่า

$$ERP = P_1 G$$

แถบความถี่ (BANDWIDTH)

จัดเป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศทำงานได้น่าพอใจ พิจารณาจากโลบหลัก (MAIN LOBE) ของรูปแบบการแพร่คลื่น ซึ่งคิดจากกราฟแถบความถี่ คือ ช่วงความถี่ที่ค่าพลังงานของสายอากาศที่แพร่ออกอากาศในทิศทางโลบหลักมีค่าไม่ต่ำกว่า 3 dB

2.2.15 ความต้านทานการแพร่คลื่นและประสิทธิภาพสายอากาศ

กำหนดค่าพลังงานที่แพร่จากสายอากาศมีสูตร

$$P = I^2 R_r$$

R_r คือ ความต้านทานการแพร่คลื่น และถ้าคิดความต้านทาน เนื่องจากการสูญเสียความร้อนด้วยให้แทนอักษร R_L ดังนั้นประสิทธิภาพของสายอากาศ (เขียนแทนด้วยอักษร η) คือ อัตราส่วนของพลังงานที่แพร่ออกอากาศต่อส่วนที่ป้อนให้สายอากาศ มีสูตรคำนวณดังนี้

$$\eta = \frac{I^2 R_r}{I^2 R_L + I^2 R_r} = \frac{R_r}{R_L + R_r} \times 100\%$$

2.2.16 การแก้ปัญหาเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ

ความสับสนเกี่ยวกับสายนำสัญญาณกับสายอากาศ คือ ถ้ามีสายอากาศแบบเดียวกัน 2 จุด และใช้สายนำสัญญาณต่างชนิดกัน หรือใช้ชนิดเดียวกันแต่วิธีแมทช์ต่างกัน จะมีผลให้การใช้งานของสายอากาศทั้งสองนี้ต้องแตกต่างกันไป สาเหตุมาจากสายอากาศแบบเดียวกัน ถึงแม้จะใช้สายนำสัญญาณต่างชนิดก็สามารถนำมาใช้งานเดียวกันได้ เพราะว่าถ้าพิจารณาในแง่สายนำสัญญาณแล้ว พบว่าสายอากาศเป็นเพียงโหลดที่นำมาต่อเท่านั้น จุดสำคัญอยู่ที่ว่าโหลดมีคุณสมบัติเป็น

ความต้านทาน หรือรีแอ็กแตนซ์ต่อสายนำสัญญาณ นั่นคือ สายนำสัญญาณชนิดใดๆ สามารถนำมาใช้ร่วมกับสายอากาศแบบใดก็ได้ถ้ามีวิธีแมทช์ระหว่างกันที่ถูกต้อง

2.2.17 ช่วงความถี่และอัตราส่วน SWR

เป็นค่าที่ใช้วัดความไม่แมทช์กันระหว่างโหลดกับสายส่งซึ่งค่าหาได้จาก $SWR = \frac{Z_L}{Z_O}$

2.2.18 การสูญเสีย (LOSSES)

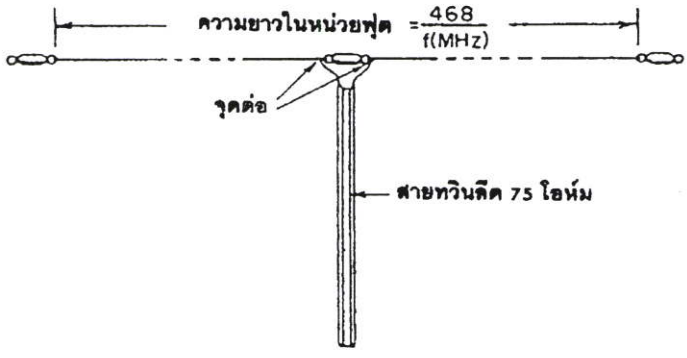
เหตุสำคัญในการแมทช์อิมพีแดนซ์ เพื่อให้ได้ระดับของคลื่นในสายเป็นเส้นตรง เพราะจะมีค่าการสูญเสียกำลังต่ำสุด โดยทั่วไปเรามักจะลดค่าการสูญเสียลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้น และค่า SWRจะมีผลเกี่ยวข้องอย่างมาก แต่ถ้านำมาพิจารณาที่ย่านความถี่ต่ำจะมีการสูญเสียน้อยถึงแม้ความยาวของสายจะเพิ่มขึ้น

2.2.19 ขีดจำกัดของกำลังคลื่น

เหตุประการหนึ่งที่ต้องมีการแมทช์ คือ สายนำสัญญาณแต่ละชนิดจะมีขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอยู่ ดังนั้น การเลือกระดับกำลังคลื่นที่มาใช้กับสายจึงเป็นเรื่องสำคัญ ไม่เช่นนั้นอาจเกิดความเสียหายกับสายได้ มีหลักการว่า ขนาดกำลังไฟฟ้าที่สายนำสัญญาณใช้งานได้ จะเป็นสัดส่วนกลับกันกับค่า SWR เช่นสายแบบ 300 โอห์ม (ทวินลีด) ใช้กำลังไฟฟ้าได้ 500 วัตต์ ถ้าถูกแมทช์อย่างดี (SWR = 1:1) แต่จะมีค่าเหลือ 50 วัตต์ ถ้าค่า SWR เพิ่มขึ้นเป็น 10:1

2.2.20 การแมทช์สายนำสัญญาณ

การใช้งานสายนำสัญญาณที่ค่าอัตราส่วน SWR ต่ำต้องใช้โหลดที่แมทช์กับอิมพีแดนซ์ประจำสายให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

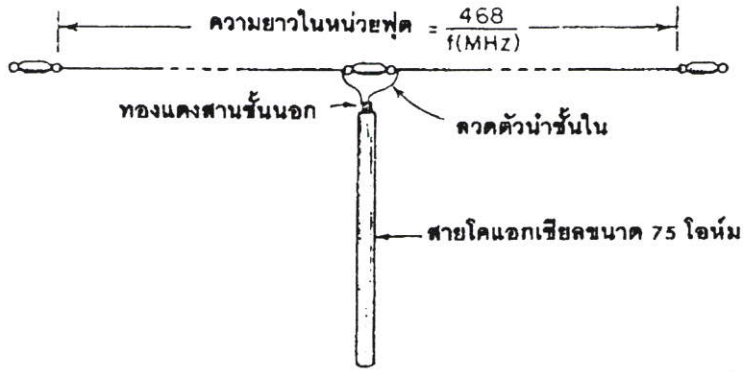


รูปที่ 2.12 แสดงการต่อไดโพลแบบ ½ λ กับสายทวินลีด 75 โอห์ม

วิธีต่อ ดังรูปที่ 2.12 ใช้งานได้ดีเมื่อความถี่ใช้งานเป็นจำนวนเท่าเลขคี่ของความถี่พื้นฐานเช่น สายอากาศจะรีโซแนนซ์ที่ความถี่ 7 MHz สามารถทำงานในความถี่ 21 MHz โดยเกิดค่า SWR ต่ำได้ดี (3 เท่าจากความถี่พื้นฐาน) แต่กรณีเป็นจำนวนเท่าเลขคู่ของความถี่พื้นฐานจะให้ผลการทำงานไม่ดีเลย

2.2.21 กรณีใช้สายโคแอกเชียล

แทนที่จะใช้สายทวินลีดเหมือนกรณีก่อนเราสามารถใช้สายโคแอกเชียลแบบ 75 โอห์ม (เช่น ชนิด RG-11) ต่อแทนได้ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงการต่อสายอากาศแบบ ½ λ กับสายโคแอกเชียลขนาด 75 โอห์ม

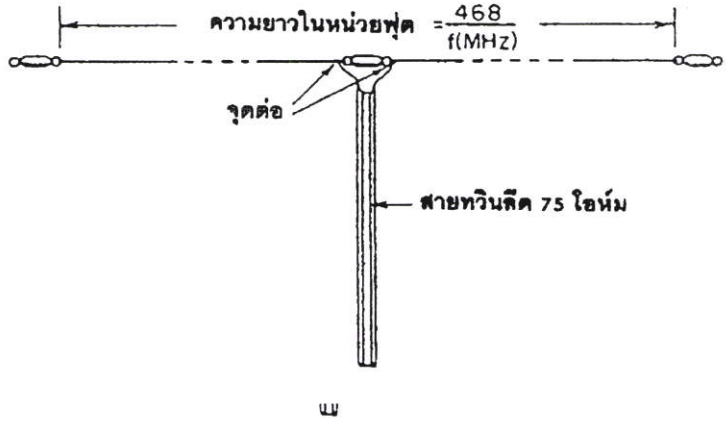
บางครั้งอาจใช้สายโคแอกเชียลที่มีอิมพีแดนซ์ประมาณ 52 โอห์มได้ เช่น ชนิด RG 58 เมื่อความสูงของสายอากาศต่ำกว่า $\frac{1}{2}\lambda$ เพราะมีผลลดค่าความต้านทานการแพร่คลื่นของสายอากาศลง

2.2.22 การแมทช์โดยตรง

การรีโซแนน์สายอากาศจุดที่ควรให้ความสนใจในการแมทช์สายอากาศ กับสายนำสัญญาณ คือ อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อต้องเป็นความต้านทานอย่างเดียวเท่านั้น หมายความว่า ระบบสายอากาศจะรีโซแนนซ์ที่ความถี่ในกรณีสายแมทช์แล้ว

จากที่ได้กล่าวมาในหน่วยต้นๆ ว่าค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศรีโซแนนซ์ขนาด $\frac{1}{2}\lambda$ ที่ความสูง $\frac{1}{4}\lambda$ หรือมากกว่านี้ (จำนวนเท่า) มีค่าเป็นความต้านทานอย่างเดียวและมีค่าประมาณ 70 โอห์มเราสามารถนำสายนำสัญญาณแบบทวินลีด ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายเท่ากับ 75 โอห์ม ก็สามารถใช้งานได้ ถึงแม้จะเกิดค่า SWR ขนาดต่ำ

สำหรับหลักการเกี่ยวข้องกับค่า SWR กับสายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียล เหมือนกับแบบทวินลีด แต่ส่วนที่แตกต่างกันระหว่างทั้งสองกรณี คือ สายแบบทวินลีดเป็นสายที่มีความสมดุลทางไฟฟ้าอยู่ ส่วนสายโคแอกเชียลไม่สมดุลทางไฟฟ้า กล่าวอย่างละเอียด คือ ในกรณีต่อกับสายโคแอกเชียลด้านนอกของตัวนำชั้นนอกไม่ได้ต่อกับสายอากาศผิดกับตัวนำชั้นใน และด้านในของตัวนำชั้นนอกที่ต่อโดยตรงอยู่มีผลลัพธ์กระแสบางส่วนไหลบนด้านนอกนี้ เป็นการสูญเสียอย่างหนึ่ง ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของสายนำสัญญาณมีขนาดเล็กมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของสายอากาศ และใช้ในย่านความถี่วิทยุสมัครเล่นช่วงความถี่ต่ำแล้ว ผลจากความไม่สมดุลทางไฟฟ้านี้สามารถละทิ้งไม่คิดได้ เพราะมีขนาดน้อยมาก แต่ในย่านความถี่ VHF และ UHF จะมีผลอย่างมาก พิจารณารูปที่ 2.14

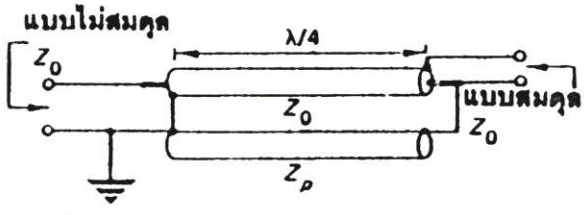


รูปที่ 2.14 แสดงการต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศโดยตรง

2.2.23 บาลัน (BALUN)

ในย่านความถี่สูง วิธีต่อโดยตรงระหว่างสายที่มีความสมดุล (ทางไฟฟ้า) กับสายที่ไม่มีความสมดุล มีผลทำให้เกิดสูญเสียพลังงานที่แพร่ออกมา หรือเกิดการแทรกจากสัญญาณรบกวนภายนอก ได้บาลันจัดเป็นวงจรที่ใช้เชื่อมต่อสายแบบสมดุลกับแบบไม่สมดุล โดยไม่มีผลกระทบใด ๆ

สำหรับย่านความถี่คลื่นวิทยุ ถ้าใช้กำลังไฟฟ้าจนถึง 5 kW หรือความถี่จนถึง 30 MHz จะใช้บาลันได้ พิจารณารูปที่ 2.15

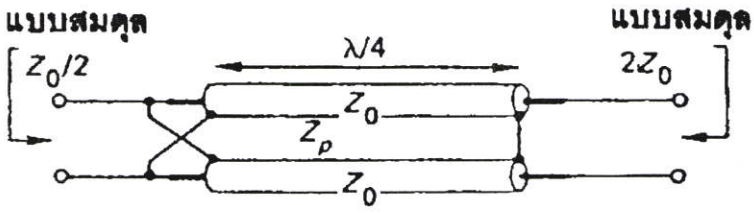


รูปที่ 2.15 แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 1 : 1

จากรูปปลายบาลันด้านแบบไม่สมดุล ตัวนำชั้นนอกของโคแอกเชียลต่อตรงกับตัวนำแท่งกลม (ตัวล่าง) ซึ่งตัวนำล่างนี้มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวนำเท่ากับ Z_p ทั้งสองมีความยาวขนาด $\frac{1}{4}\ \lambda$ ดังนั้น ถ้าพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ที่มองเข้ามาทางขวามือของบาลันมีค่าเท่ากับ Z_p^2/ϕ หรือเป็นวงจรเปิดนั่นเอง

ส่วนปลายบาลันด้านสมดุล ตัวนำเส้นหนึ่งต่อกับชั้นนอกของโคแอกเชียลและอีกเส้นต่อกับชั้นในของโคแอกเชียลรวมถึงตัวนำแท่งกลมด้วย (ไม่มีการต่อกราวด์ในด้านนี้)

โดยทั่วไป สายแบบไม่สมดุลมีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายในช่าง 50 – 75 โอห์ม ในขณะที่สายแบบสมดุล (ทวินลีด) มีค่าเป็นร้อยโอห์ม จึงมีความจำเป็นที่ต้องปรับขนาดอิมพีแดนซ์ของสายให้เข้ากันได้ ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 4 : 1

จากรูปเราใช้สายโคแอกเชียล 2 เส้นโดยด้านซ้ายมือมีการต่อตัวนำกับด้านนอกของสายโคแอกเชียลในลักษณะขนานกัน และด้านขวามือมีการต่อตัวนำกับด้านนอกของสายโคแอกเชียลในลักษณะอนุกรมกัน ถ้าค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายของแต่ละเส้นมีค่าเท่ากัน คือ Z_0 โอห์ม จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่คร่อมจุดต่อด้านขวามือเท่ากับ 2 Z_0 โอห์มและค่าอิมพีแดนซ์ที่คร่อมจุดต่อด้านซ้ายมือ เท่ากับ $Z_0/2$ โอห์ม ตัวอย่างเช่น ขนาด 300 โอห์ม สามารถปรับให้เหลือ 75 โอห์มได้

2.2.24 การแมทช์โดยใช้สายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$

สายนำสัญญาณขนาดยาว $\lambda/4$ มีความสำคัญมากในการปรับค่าอิมพีแดนซ์ โดยกำหนดหาอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายขนาด $\lambda/4$ เป็นสมการได้ดังนี้

$$Z_{in} = Z_0^2 / Z_L \quad \text{โอห์ม}$$

โดย Z_{in} แทนค่าอิมพีแดนซ์ด้านอินพุทของสายนำสัญญาณ

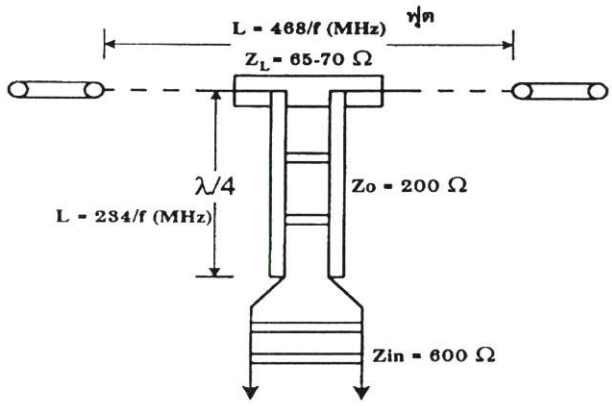
Z_0 แทนค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย

Z_L แทนค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดที่ปลายสาย

หรือเขียนได้ในรูปสมการว่า

$$Z_0 = \sqrt{Z_L Z_{in}} \quad \text{โอห์ม}$$

การประยุกต์ใช้งานที่เห็นได้ทั่วไปของสายยาว $\lambda/4$ นี้คือ การแมทช์สายนำสัญญาณกับโหลดที่มีค่าไม่เท่ากับ Z_0 พิจารณาตัวอย่างในรูปที่ 2.17

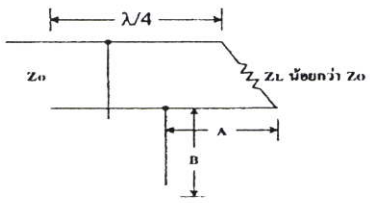


รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างการใช้สายยาว $\lambda/4$

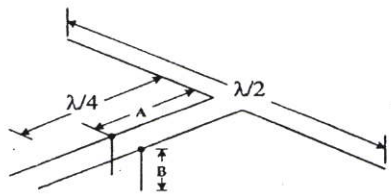
จากรูปถ้าเราต่อเข้าหากันโดยตรงกับโหลด จะเกิดการสะท้อนกลับของคลื่นขึ้น และเกิดค่า SWR ในสาย ดังนั้นจึงแก้ไขโดยปรับค่าโหลดให้เท่ากับ 600 โอห์มก่อน โดยใช้สายยาว $\lambda/4$ ต่อเชื่อมเหมือนในรูปนั่นคือ ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของส่วน $\lambda/4$ เท่ากับ 600 โอห์มด้วย จึงคำนวณหาค่า Z_0 ได้เท่ากับ $\sqrt{600 \times 65.70} = 198.544$ โอห์ม

2.2.25 การแมทช์โดยวิธีสตับ

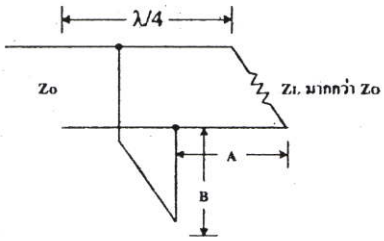
มีการแมทช์สายอีกวิธี เรียกว่า สตับ พิจารณาจากรูปที่ 2.18



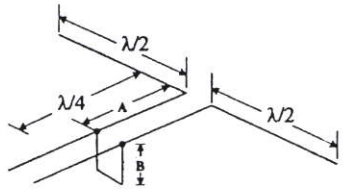
(ก) แบบเปิด



(ข) แบบเปิด



(ค) แบบปิด



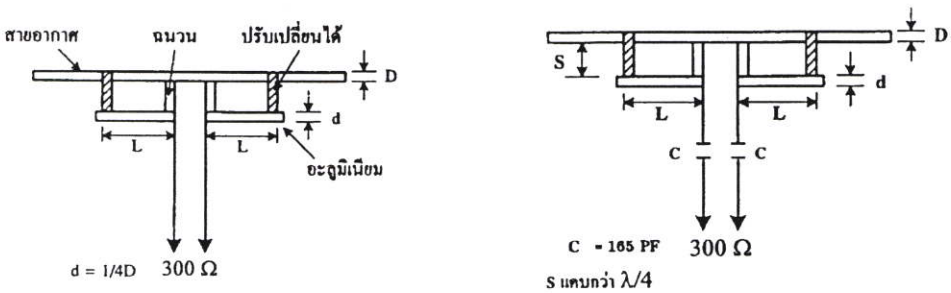
(ง) แบบปิด

รูปที่ 2.18 แสดงการต่อสตับเบื้องต้นของสายอากาศ

พิจารณาสายขนาด $\lambda/4$ พบว่าปลายด้านซ้ายมือลัดวงจรอยู่ และปลายด้านขวามือต่อกับโหลดขนาด Z_L ค่าอิมพีแดนซ์บนสาย $\lambda/4$ จะเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างจากโหลด ซึ่งมีค่าตั้งแต่ Z_L ถึงศูนย์และ ณ จุดหนึ่งจะมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำสายของสายนำสัญญาณหลัก ถ้ามีการต่อสายนำสัญญาณเข้าที่ ณ จุดนี้ ถือว่าการแมทช์เกิดขึ้น พอมองเห็นได้ว่า สายสตับ คือ ส่วนความยาวของสายด้านที่ลัดวงจรและค่าความยาวนี้มีผลต่ออินพุทรีแอ็กแดนซ์ด้วย โดยถ้าความยาวทางไฟฟ้าของสตับน้อยกว่าขนาด $\lambda/4$ ทำให้อินพุทรีแอ็กแดนซ์เป็นค่าความเหนี่ยวนำ (INDUCTIVE) หรือความยาวทางไฟฟ้าของสตับมากกว่าขนาด $\lambda/4$ ทำให้อินพุทรีแอ็กแดนซ์เป็นค่าประจุไฟฟ้า (CAPACITIVE)

2.2.26 วิธีแมทช์รูปตัวที (T)

แสดงการแมทช์แบบตัวทีดังรูปที่ 2.19

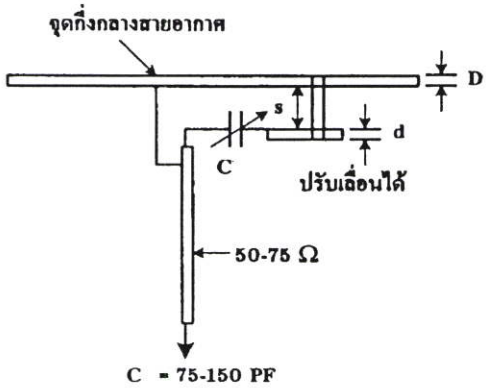


รูปที่ 2.19 แสดงการแมทช์โดยวิธีรูปตัวที (ใช้กับสายอากาศแบบ $\lambda/2$ และสายนำสัญญาณขนาด 600 โอห์ม)

จากรูปมีส่วนคล้ายกับไดโพลแบบห่วง(FOLDED DIPOLE)เพราะถ้าเราเพิ่มความยาวของ L ให้เท่ากับสายอากาศก็เป็นไดโพลแบบห่วง ได้วิธีแมทช์รูปตัวทีจัดว่ามีความยืดหยุ่นในการปรับค่าอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ได้ดี และง่ายต่อการสร้างด้วย เหมาะที่ใช้กับสายแบบเส้นคู่หรือทวินลีดได้ (แบบสมดุล) ส่วนกรณีโคแอกเชียลต้องใช้อุปกรณ์บาลันร่วมในการติดตั้ง หรือใช้วิธีแมทช์แบบแกมม่าได้ (อธิบายวิธีนี้ในตอนต่อไป) ที่เหมาะกับสายแบบไม่สมดุล

กระแสไฟฟ้าที่ไหล ณ จุดต่อของรูป T ประกอบด้วยกระแสจากสายอากาศที่มาถึงตัวแพร่คลื่นนี้กับตัวนำรูป T โดยมีค่าขึ้นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ และระยะห่างระหว่างทั้งสอง เราอาจพิจารณาส่วนตัวนำกับสายอากาศที่ต่อไปเป็นรูปห่วงว่าเป็นส่วนลัดวงจรของปลายสายนำสัญญาณได้ และเนื่องจากการแมทช์รูปตัว T นี้ความยาวของห่วงมีค่าน้อยกว่า $\lambda/4$ ทำให้เกิดค่ารีแอ็กแดนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้นซึ่งถ้าสายอากาศเกิดรีโซแนนซ์ที่มีความถี่ใช้งานค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของ T จะมีทั้งความต้านทาน และค่ารีแอ็กแดนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้น เราต้องกำจัดค่ารีแอ็กแดนซ์นี้ให้หมดไป เพื่อเกิดผลการแมทช์ที่ดีกับสายนำสัญญาณ วิธีที่ทำ

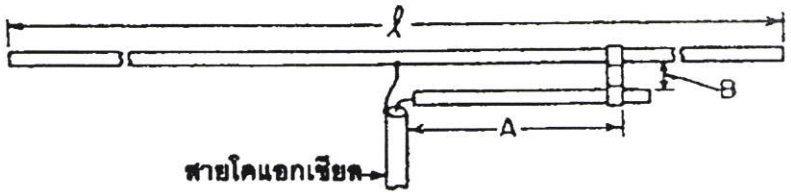
คือ ลดขนาดสายอากาศให้เกิดค่า รีแอ็กแดนซ์เชิงประจุไฟฟ้า เพื่อนำไปหักล้างกันจนหมด หรืออีกวิธีคือ ต่อตัวเก็บประจุอนุกรมกับจุดต่ออินพุท ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงการต่อตัวเก็บประจำอนุกรมเพื่อปรับค่ารีโซแนนซ์

2.2.27 วิธีแมทช์แบบแกมม่า

พิจารณารูปที่ 2.21

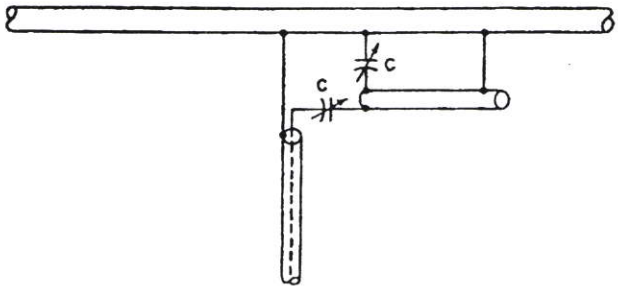


รูปที่ 2.21 แสดงวิธีแมชท์แบบแกมม่าโดยใช้สายโคแอกเชียลขนาด 52 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม

วิธีแกมม่าใช้หลักการเดียวกับวิธีรูปตัวที แต่มีเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้นเหมาะที่ใช้กับสายแบบไม่สมดุล เช่น สายโคแอกเชียล เป็นต้นวิธีกำจัดค่ารีแอ็กแดนซ์ก็เช่นเดียวกันคือ ลดขนาดสายอากาศหรือตัวต่อเก็บประจุอนุกรมลงไป

2.2.28 วิธีแมชท์แบบโอเมก้า

วิธีนี้มีการปรับปรุงเพิ่มขึ้นจากวิธีแบบแกมม่า โดยใช้ตัวเก็บประจุต่อทั้งขนานและอนุกรม เพื่อกำจัดค่ารีแอ็กแดนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าให้หมดไป ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงวิธีแมทช์แบบโอเมก้า

จากรูป C_1 เป็นตัวเก็บประจุอนุกรมที่มีอยู่แต่เดิม

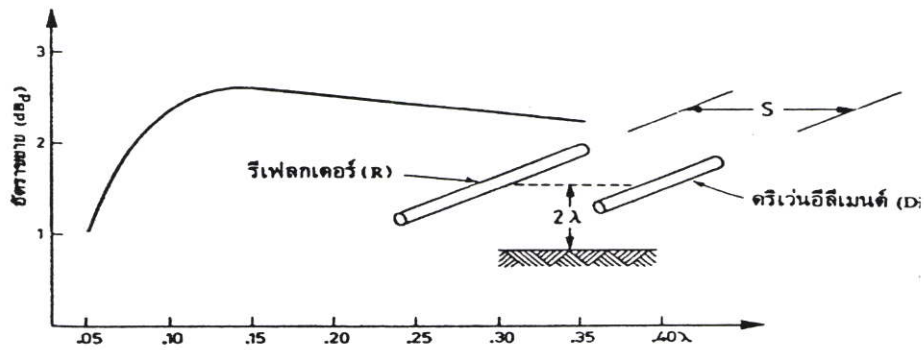
C_2 เป็นตัวเก็บประจุที่เพิ่มขึ้นมา

2.2.29 การออกแบบสายอากาศ YAGI ตามวิธีของ NBS

เป็นวิธีการออกแบบที่พัฒนาขึ้นโดยสำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ (NBS) ของอเมริกาซึ่งจะช่วยให้สามารถออกแบบสายอากาศ YAGI ขนาดตั้งแต่ 3 E ถึง 15 E สำหรับความถี่ต่าง ๆ ตามต้องการได้ด้วยตนเอง

สายอากาศ YAGI เป็นสายอากาศทิศทางแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมใช้งานมานาน ตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่สองและก็ได้รับความนิยมเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมามีผู้พยายามวิจัยเพื่อหาวิธีการออกแบบที่จะทำให้สายอากาศมีอัตราขยายต่อความยาวของบูมมากที่สุด โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ตั้งแต่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ต่าง ๆ จำนวนไดเรกเตอร์ และเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของอีลีเมนต์ต่าง ๆ ซึ่งก็พบด้วยว่าขนาดต่างๆ เหล่านี้ทั้งหมดมีผลกระทบระหว่างกันพอเปลี่ยนตัวหนึ่ง ก็ต้องเปลี่ยนระยะของตัวอื่นไปด้วย เพราะทุกอย่างมีผลกระทบถึงอัตราขยาย รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น และความถี่ใช้งาน

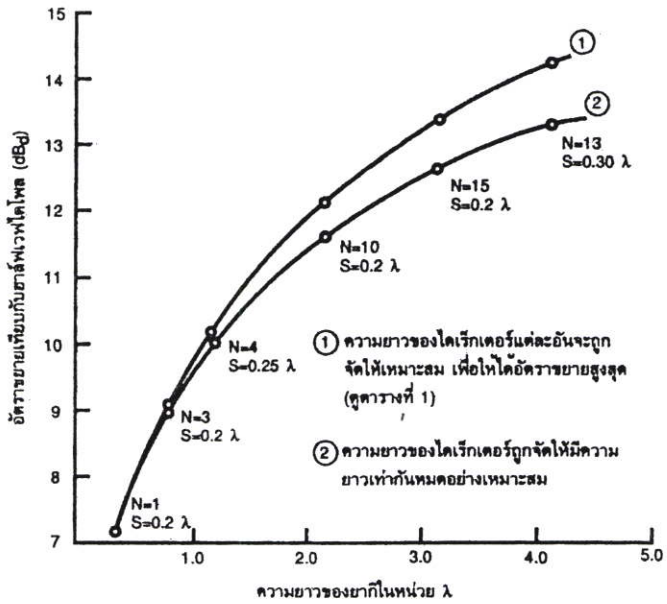
1. รีเฟลกเตอร์ วิศวกรของ NBS เริ่มต้นศึกษาจาก YAGI 2 อีลีเมนต์ก่อนว่า ระยะและความยาวของรีเฟลกเตอร์ควรเป็นเท่าไร จึงจะได้อัตราขยายสูงสุดเป็น 2.6 dB_d จากผลการทดลองดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงผลการทดลองหาอัตราขยายของสายอากาศ YAGI สำหรับระยะห่างต่าง ๆกัน ระหว่างรีเฟลกเตอร์และดริเว่นอีลีเมนต์ โดยทดลองที่ความสูงจากพื้นดินประมาณ 2 λ

เมื่อรีเฟลกเตอร์อยู่หลังดริเว่นอีลีเมนต์ 0.2 λ โดยระยะนี้ไม่วิกฤตเท่าไรนัก เพราะแม้จะต่างจาก 0.2 λ ไปบ้างก็ไม่ทำให้อัตราขยายลดลงไปมากนัก ดังนั้น ในการทดลองอื่น ๆ ถัดจากนี้ของ NBS จึงใช้ระยะห่างระหว่างรีเฟลกเตอร์และดริเว่นอีลีเมนต์เป็น 0.2 λ ตลอด วิศวกรของ NBS พยายามลองจัดรีเฟลกเตอร์ อีกหลาย ๆ รูปแบบ เพื่อดูว่ามีทางเพิ่มอัตราขยายได้อีกบ้างหรือไม่ ในที่สุดพบว่า เมื่อเพิ่มรีเฟลกเตอร์อีก 2 อัน (รวมเป็น 3 อัน) แล้วจัดเป็นรูปสามเหลี่ยม (เมื่อมองดูจากด้านข้าง)อย่างที่เรียกว่า Trigonal Reflector จะได้อัตราขยายเพิ่มขึ้นสูงสุดกว่า แบบที่ใช้รีเฟลกเตอร์อันเดียวอยู่ 0.75 dB เมื่อทดสอบกับสายอากาศ YAGI ที่ยาว 4.2 λ ซึ่ง NBS คาดว่าน่าจะให้ผลทำนองเดียวกันเมื่อนำไปใช้กับสายอากาศ YAGI ที่ความยาวบูมอื่น ๆ และน่าใช้ในกรณีที่ต้องการอัตราส่วนระหว่างสัญญาณด้านหน้าต่อด้านหลัง (F/B ratio) สูง

2. ไดเรกเตอร์ เมื่อจัดรีเฟลกเตอร์แล้วก็มาถึงไดเรกเตอร์ซึ่งนับเป็นหัวใจสำคัญ สำหรับการออกแบบสายอากาศ YAGI จากการทดลองพบว่าทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางความยาวและระยะห่างของไดเรกเตอร์ต่างมีผลกระทบถึงกันหมด นอกจากนั้น ยังพบว่ายิ่งใช้จำนวน ไดเรกเตอร์มากขึ้น (โดยใช้ความยาวบูมเพิ่มขึ้นด้วย) ค่าเหล่านี้ก็ยิ่งวิกฤตมากขึ้น คือ มีผลมากขึ้น ขนาดหรือระยะต่าง ๆ ผิดเพี้ยนไปหน่อย ก็มีผลต่อการทำงานอย่างเห็นได้ชัดขึ้น



รูปที่ 2.24 แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของยากิ

ในการทดลองของ NBS นั้น เขาลองใช้ไดเรกเตอร์ที่มีความยาวต่าง ๆ กัน มาวางให้แต่ละตัวห่างเท่า ๆ กัน ตั้งแต่ 0.01 λ ถึง 0.40 λ บนบูมที่ยาวขึ้นไปถึง 10 λ เมื่อลองเอาผลต่าง ๆ เหล่านี้มาลองเขียนกราฟดูก็พบว่ามีระยะห่างที่เหมาะสมของไดเรกเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้น

ยังสามารถเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศได้อีก ถ้าเลือกความยาวของไดเรกเตอร์แต่ละอัน ให้เหมาะสมด้วย ในรูปที่ 2.24 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตราขยายสูงสุดที่ทดลองได้ที่ความยาวบูมต่าง ๆ กัน สำหรับกรณีที่ให้ความยาวของไดเรกเตอร์แต่ละอันอย่างเหมาะสม

3. เส้นผ่านศูนย์กลางของอีลีเมนต์ ในการทดลองของ NBS เขาพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์มีผลต่อความยาวที่เหมาะสมของตัวมัน เช่น เมื่อเปลี่ยนไดเรกเตอร์ให้อ้วนขึ้น จะต้องเปลี่ยนความยาวให้สั้นลงกว่า ในตารางที่ 2.2 จึงจะได้ผลการทดลองอย่างเดิมที่ความถี่กลางที่ออกแบบไว้ ดังนั้น เขาจึงทำกราฟรูปที่ 2.24 ขึ้นมาเพื่อใช้ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ต่างจาก 0.0085 λ โดยใช้ได้กับเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่จาก 0.001 λ ถึง 0.04 λ

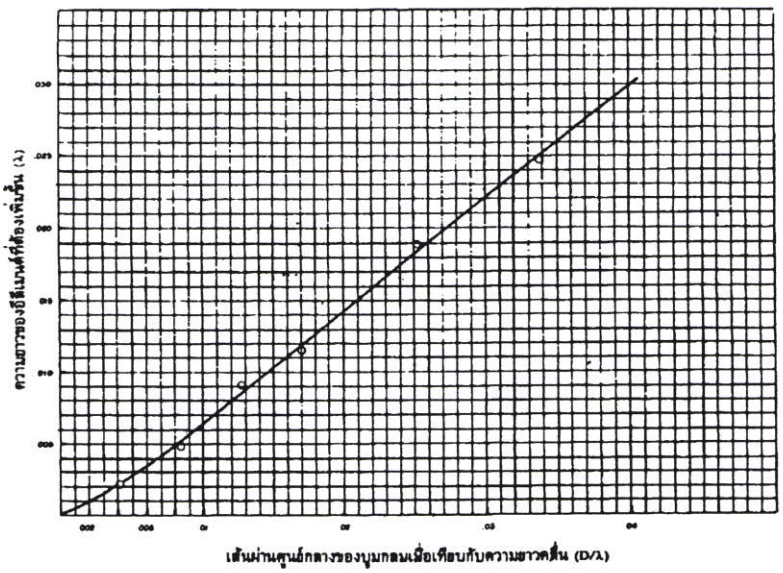
ตารางที่ 2.2 แสดงความยาวที่เหมาะสมของแต่ละอีลีเมนต์ ทุกกรณีนี้รีเฟลกเตอร์อยู่ห่างจากดริเว่นอีลีเมนต์ 0.2 λ และเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์เป็น 0.0085 λ

ความยาวของบูม (λ)	0.4	0.8	1.2	2.2	3.2	4.2
จำนวนอีลีเมนต์ทั้งหมด	3	5	6	12	17	15
ความยาวของรีเฟล็กเตอร์ (λ)	0.482	0.482	0.482	0.482	0.482	0.475
ความยาวของไดเร็กเตอร์ที่ 1	0.442	0.428	0.428	0.432	0.428	0.424
ที่ 2	—	0.424	0.420	0.415	0.420	0.424
ที่ 3	—	0.428	0.420	0.407	0.407	0.420
ที่ 4	—	—	0.428	0.398	0.398	0.407
ที่ 5	—	—	—	0.390	0.394	0.403
ที่ 6	—	—	—	0.390	0.390	0.398
ที่ 7	—	—	—	0.390	0.386	0.394
ที่ 8	—	—	—	0.390	0.386	0.390
ที่ 9	—	—	—	0.398	0.386	0.390
ที่ 10	—	—	—	0.407	0.386	0.390
ที่ 11	—	—	—	—	0.386	0.390
ที่ 12	—	—	—	—	0.386	0.390
ที่ 13	—	—	—	—	0.386	0.390
ที่ 14	—	—	—	—	0.386	—
ที่ 15	—	—	—	—	0.386	—
ระยะห่างระหว่างไดเร็กเตอร์ (λ)	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.308
อัตราขยาย (dB_d) ที่ NBS ระบุ*	7.10	9.20	10.20	12.25	13.40	14.20
กราฟที่ใช้ในการออกแบบ (ดูรูปที่ 4)	A	C	C	B	C	D

* จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี (ดูรายละเอียดในหัวข้อ "ข้อสังเกตแห้งผลการทดลองของ NBS") พบว่าค่าอัตราขยายจริงจะต่ำกว่าค่าที่ NBS ระบุในตารางนี้เล็กน้อย

4. ผลของบูม ข้อมูลทั้งหลายเกี่ยวกับความยาวของแต่ละอีลีเมนต์ของ NBS ได้มาจากการทดลองบนบูมสามเหลี่ยมซึ่งทำจากฉนวนที่เรียกว่า เพลกซีกลาส จึงเสมือนหนึ่งเป็นบูมอากาศ หลังจากที่ NBS ทดลองจนได้ความยาวที่เหมาะสมแล้วจึงได้ศึกษาผลของบูมที่ใช้วัสดุต่างๆ กัน ที่ขนาดต่างๆ กันด้วยในรายงานของ NBS ระบุว่าเมื่อใช้บูมเป็นไม้แล้วผลการทำงาน

ของสายอากาศยากที่จะทำซ้ำเดิมได้ เนื่องจากผล ของความชื้นของอากาศแม้จะทาน้ำยากันชื้นแล้วก็ตามแต่เมื่อใช้บูมเป็นโลหะแล้ว พบว่าสามารถทำซ้ำเดิมได้ง่าย เมื่อเพิ่มความยาวของทุก ๆ อีลีเมนต์ เพื่อชดเชยผลของบูมในตอนแรก ๆ ดูเหมือนว่าเพิ่มความยาวไปด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่งก็พอแล้ว แต่เมื่อลองทำการทดสอบจริง NBS พบว่าบูมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก (เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น) มีผลต่อความยาวของอีลีเมนต์น้อยกว่าบูมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่านั่นคือยิ่งบูมใหญ่ก็ต้องเพิ่มความยาวของอีลีเมนต์มากขึ้น รูปที่ 2.25 แสดงความยาวของทุกอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้น เมื่อยึดทะลุผ่านบูมกลมขนาดต่าง ๆ กัน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 0.04 λ นอกจากนั้น NBS ยังพบอีกว่าบูมสี่เหลี่ยมและบูมกลมให้ผลเท่ากัน



รูปที่ 2.25 กราฟแสดงความยาวของอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้นจากผลการทดลองของ NBS เมื่อยึดอีลีเมนต์ทะลุผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบูมกลมโดยสัมผัสทางไฟฟ้ากับบูมด้วย

5. ดริเว่นอีลีเมนต์และการแมทช์ ในรายงานของ NBS ระบุว่าความยาวของดริเว่นอีลีเมนต์ไม่ค่อยมีผลต่อการทำงาน (ในด้านอัตราขยายและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น) ของสายอากาศ YAGI ที่ออกแบบนี้เท่าไร ตราบใดที่ความยาวทางไฟฟ้าใกล้เคียง $\lambda/2$ และยังคงสั้นกว่ารีเฟลกเตอร์ ดังนั้น NBS จึงไม่ได้ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับความยาวที่แน่นอนของดริเว่น อีลีเมนต์ และวิธีการแมทช์มาให้ วิธีการแมทช์จะมีผลตรงที่มักจะทำให้แถบความถี่ใช้งาน (BAND WIDTH) ของสายอากาศแคบลงมากน้อยเพียงใด และบางแบบอาจมีการแผ่คลื่นออกมาด้วย หรือทำให้กระแสในแต่ละซีกของดริเว่นอีลีเมนต์ไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลให้รูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศผิดเพี้ยนไปบ้าง สำหรับการทดลองส่วนใหญ่ ของ NBS แล้ว จะใช้โฟลเดดไดโพลเป็น ดริเว่นอีลีเมนต์ โดยมีโคแอกเซียลบาลัน 4:1 และมีสตับมาช่วยการแมทช์

2.2.30 การ STACK สายอากาศ

การนำสายอากาศพื้นฐานมาต่อขนานกันหรือนิยมเรียกว่านำมาสแต็กกันจะลดผลของสายนำสัญญาณที่มีต่อการทำงานของสายอากาศไปได้มาก ปรับแต่งได้ง่าย และสามารถเดาอัตราขยายที่ได้ค่อนข้างแม่นยำ เช่น เมื่อนำสายอากาศพื้นฐาน 2 ต้นมาสแต็กกันเป็นแบบที่นิยมเรียกว่า 2 สแต็ก ก็จะได้อัตราขยายกำลังไฟฟ้ารวมเป็นประมาณ 2 เท่า ของต้นเดียว (หรือได้อัตราขยายเพิ่มขึ้นจากเดิมอีกประมาณ 3 dB) ถ้านำมาทำเป็น 3 สแต็ก ก็จะได้อัตราขยายกำลังไฟฟ้ารวมเป็นประมาณ 3 เท่า ของต้นเดียว (หรือได้อัตราขยายเพิ่มขึ้นจากเดิมอีกประมาณ 4.8 dB) และที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ไม่ว่าจะกี่สแต็กก็ตาม ขนาดและรูปร่างของสายอากาศพื้นฐานยังคงเป็นเช่นเดิม ทำให้ง่ายแก่การทดลองสร้างขึ้นใช้เอง จากรูปแสดงตัวอย่างวิธีการจัดวางไดโพล 2 แบบที่นิยมกันแบบแรกเป็นการจัดวางไดโพลให้หันหน้าออกไปรอบๆ ตัว

2.2.31 หลักการเบื้องต้นที่ควรรู้จัก

ผลของเสากลาง ในการนำเอาสายอากาศไดโพลมาสแต็กกันในแนวดิ่งและยึดติดเข้ากับเสากลางนั้น เราสามารถใช้ผลการทดลองเกี่ยวกับสายอากาศ YAGI มาใช้งานได้ ทั้งนี้เพราะเสากลางทำหน้าที่คล้ายรีเฟลกเตอร์ และไดโพลทำหน้าที่คล้ายดริเว่นอีลีเมนต์ รูปที่ 2.26 แสดงผลการทดลองดังกล่าว จากกราฟในรูปที่ 2.26 (ก) จะเห็นว่าเมื่อนำเอาไดโพลตัวหนึ่งมาวางห่างจากเสากลางประมาณ 0.22 λ (วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางของไดโพลถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของเสากลาง) ค่าความต้านทานการแผ่คลื่น หรืออิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่รีโซแนนซ์จะเป็น 50 โอห์ม

2.2.32 การต่อสายแมทชิ่ง

ถ้าต้องการสแต็กไดโพล 2 ตัว ที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ให้มีอิมพีแดนซ์รวมเป็น 50 โอห์ม เนื่องจากไดโพลทั้งสองตัวต้องมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากัน ดังนั้นก็หมายความว่าไดโพลทั้งสองจะต้องถูกแปลงให้มีอิมพีแดนซ์เป็น 100 โอห์ม เสียก่อนเมื่อนำมาขนานกันแล้วอิมพีแดนซ์รวมจึงจะลดลงมาครึ่งหนึ่งเป็น 50 โอห์ม

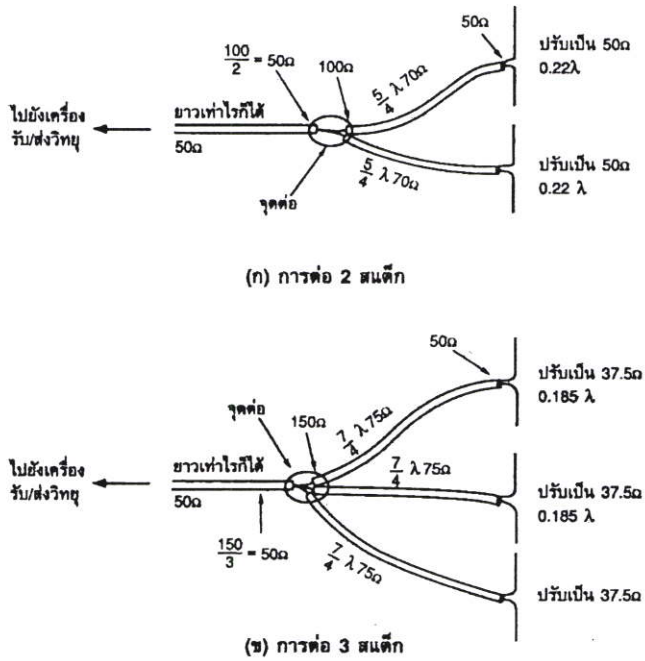
วิธีการแปลงอิมพีแดนซ์ที่ง่ายวิธีหนึ่ง คือ ใช้สายแมทชิ่ง (MATCHING SECTION) หรือที่เรียกว่า ควอเตอร์เวฟทรานสฟอร์เมอร์ หรือสายเฟสชิ่ง หลักการ คือ เมื่อนำเอาสายแมทชิ่งที่มีอิมพีแดนซ์เป็น Z_o ที่มีความยาวทางไฟฟ้าเป็นจำนวนเลขคี่ของ $\frac{\lambda}{4}$ (เช่น $\frac{\lambda}{4}$, $3\frac{\lambda}{4}$, $5\frac{\lambda}{4}$.....) มาต่อเข้ากับอุปกรณ์ (สายอากาศ) ที่มีอิมพีแดนซ์เป็น Z_L อิมพีแดนซ์ (Z_s) ที่ปรากฏที่ปลายอีกข้างหนึ่งของสายแมทชิ่งจะมีความสัมพันธ์กับ Z_o และ Z_L ดังนี้

$$Z_O = \sqrt{Z_s Z_L}$$

ดังนั้นเมื่อทราบค่าอิมพีแดนซ์ของสายแมทช์ชิ่งที่ใช้และอิมพีแดนซ์ที่ถูกแปลงมาแล้วก็หาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ต้องสร้างขึ้นได้จาก

$$Z_L = \frac{Z_O^2}{Z_s}$$

จากตัวอย่างต้องแปลงอิมพิแดนซ์ของไดโพลแต่ละต้นให้เป็น 100 โอห์มเสียก่อน โดยการนำเอาสายโคแอกเชียลที่มีอิมพีแดนซ์ 70 โอห์ม และมีความยาวทางไฟฟ้าเป็นจำนวนเท่าเลขคี่ของ $\frac{\lambda}{4}$ มาทำเป็นสายแมทชิ่งโดยแทรกเข้าไปที่ไดโพลแต่ละตัวก่อน ดังนั้นเมื่อมองที่อีกปลายหนึ่งของสาย แมทชิ่งจะมองเห็นอิมพีแดนซ์เป็น 100 โอห์มเมื่อนำมาขนานกันก็จะได้อิมพีแดนซ์รวมเป็น 50 โอห์ม สามารถต่อเข้ากับสายโคแอกเชียล 50 โอห์ม เพื่อไปเข้ากับเครื่องรับ/ส่งวิทยุต่อไป



รูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่างวิธีการแมทชิ่งไดโพล 2 และ 3 สแต็ก

2.2.33 ความยาวจริงของสายแมทชิ่ง

ความยาวจริงจะสั้นกว่าความยาวทางไฟฟ้า เพราะคลื่นวิทยุจะเดินทางในสายได้ช้ากว่าเดินทางในอากาศ ดังนั้นเมื่อต้องการทราบความยาวที่แท้จริงของสายอากาศโคแอกเชียล จะต้องนำเอาตัวคูณทางความเร็ว (Velocity Factor หรือ V) ของสายโคแอกเชียลที่ใช้คูณเข้าไป ซึ่งค่าตัวคูณนี้จะเปิดดูได้จากแคตตาล็อกของผู้ผลิต หรือตำราที่เกี่ยวกับวิทยุสมัครเล่นก็ได้

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของสายโคแอกเชียลที่นิยมใช้กัน

สายเบอร์	Z_0 (Ω)	ตัวคูณความเร็ว (v)	อัตราการสูญเสีย (dB) ที่ความยาว 100 ฟุต ที่ 144 MHz	อัตรากำลังสูงสุด (W) ที่ 144 MHz	ราคาโดยประมาณ (บาท/เมตร)
RG-8A/U	52.0	0.66	2.5	800	25
RG-8/Uโฟม	50.0	0.80	2.0	1,100	-
RG-11A/U	75.0	0.66	2.8	800	28
RG-58A/U	52.0	0.66	6.0	175	12

ถ้าต้องการหาความยาวจริงของสายโคแอกเชียลเบอร์ RG-11A/U ซึ่งมีค่าตัวคูณทางความเร็ว (V) เป็น 0.66 ต้องการตัดให้ได้ค่าความยาวทางไฟฟ้าเป็น $5\frac{\lambda}{4}$ จะหาค่าความยาวจริงได้ดังนี้

$$\text{ความยาวจริง} = 5\frac{\lambda}{4}\times v$$

$$= \frac{5}{4}\left(\frac{29980}{f}\right)\times v$$

$$= \frac{5}{4}\times\frac{29980}{f}\times 0.66$$

$$= 170.6 \quad \text{เซนติเมตร}$$

การนำสายอากาศแบบ YAGI มาสแต็กกัน 2 แผง เพื่อให้ได้อัตราการขยายที่สูงขึ้น ใช้สายนำสัญญาณ 75 โอห์ม ที่มีชีลหนามาทำการแมทช์ ต้นแบบใช้สาย RG 11 คิดความยาวตามสูตร

$$L = \frac{n\lambda \times vc}{4}$$

เมื่อ n = จำนวนคี่ 1,3,5,7,9,...

L = ความยาวของสายเฟสชิ่ง

λ = ความยาวคลื่น

vc = ค่าความเร็วคงตัวของสาย

2.3 กระบวนการเรียนรู้ด้วยวิธี CIPPA MODEL

การจัดการเรียนการสอนแบบยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง โดยการใช้วิธี CIPPA MODEL (ทิศนา แขมมณี. 2541 : 28-31) สามารถช่วยให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งทางด้านร่างกาย สติปัญญา สังคมและอารมณ์ดังนี้

C มาจากคำว่า Construct หมายถึง การสร้างความรู้ตามแนวคิดของ Constructivism กล่าวคือ กิจกรรมการเรียนรู้ที่ดีควรเป็นกิจกรรมที่ช่วยให้ผู้เรียนมีโอกาสสร้างความรู้ด้วยตนเอง

I มาจากคำว่า Interaction หมายถึง การได้ปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นหรือสิ่งแวดล้อม

P มาจากคำว่า Physical Participation หมายถึง การมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ทางกาย คือ ผู้เรียนมีโอกาสเคลื่อนไหวร่างกายโดยทำกิจกรรมในลักษณะต่าง ๆ

P มาจากคำว่า Process Learning หมายถึง การเรียนรู้กระบวนการต่าง ๆ กิจกรรมการเรียนรู้ที่ดีควรเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้เรียนรู้กระบวนการต่าง ๆ ซึ่งเป็นทักษะที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต เช่น กระบวนการแสวงหาความรู้ กระบวนการคิด กระบวนการแก้ปัญหา กระบวนการกลุ่ม กระบวนการพัฒนาตนเอง

A มาจากคำว่า Application หมายถึง การนำความรู้ที่ได้เรียนรู้ไปประยุกต์ใช้ ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนได้รับประโยชน์จากการเรียนและช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ เพิ่มเติมขึ้นเรื่อย ๆ

สรุปได้ว่า การจัดการเรียนการสอนตาม CIPPA MODEL สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งทางด้านร่างกาย สติปัญญา และสังคม ส่วนการมีส่วนร่วมทางด้านอารมณ์นั้น ความจริงแล้วเกิดขึ้นควบคู่ไปกับทุกด้าน ซึ่งหากครูสามารถจัดกิจกรรม การเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้ตามหลักดังกล่าวแล้ว การจัดการเรียนการสอนของครูก็จะมีลักษณะที่ผู้เรียนเป็นศูนย์กลางอย่างแท้จริง

2.4 การสอนภาคปฏิบัติ

การสอนภาคปฏิบัติ เป็นการสอนโดยวิธีสอนแบบปฏิบัติการทดลองที่ทำให้เกิดประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องนำไปปฏิบัติ หรือการศึกษาข้อเท็จจริงจากภาคทฤษฎีที่ได้มีผู้ค้นพบมาแล้ว โดยผู้เรียนทำการทดลอง หรือโดยวิธีการสอบสวนค้นคว้าและปฏิบัติ การทดลองตามเนื้อหาทฤษฎีที่ได้เรียนมา แล้วสรุปถึงข้อเท็จจริงตามทฤษฎี

2.4.1 ความหมายของการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง

การปฏิบัติการทดลองและขั้นตอนของการปฏิบัติการทดลอง เช่น ในการอภิปรายก่อนการทดลอง การทำการทดลองโดยอาศัยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การอภิปรายหลังการทดลองเพื่อหาข้อสรุป เป็นต้น เหล่านี้เป็นสิ่งที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้การทดลองเป็นเครื่องมือในกระบวนการค้นพบ ตลอดจนสร้างสรรค์หรือประดิษฐ์คิดค้น ทำให้ความรู้ต่าง ๆ ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว (พวงทอง มีมั่นคง. 2537 : 90)

การสอนแบบทดลอง (Laboratory Instruction) คือ กระบวนการที่ผู้สอนพยายามสร้างกิจกรรมหรือสถานการณ์เพื่อให้ผู้เรียนได้สัมผัสและได้รับประสบการณ์จากการปฏิบัติทดลอง รวมทั้งเพื่อให้ผู้เรียนแก้ปัญหา พิสูจน์ข้อเท็จจริงจากทฤษฎีที่ได้มีการค้นพบแล้วและเกิดการเรียนรู้ เกิดประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องนำไปปฏิบัติสามารถพัฒนาทักษะการใช้เครื่องมือ รวมทั้งสามารถประยุกต์หลักการที่ใช้ในห้องทดลองกับงานจริงในภาคสนามได้ ทั้งนี้เนื่องจากในการเรียนรู้นี้ผู้เรียนจะทำการทดลองตามเนื้อหาทฤษฎีที่ได้เรียนมาโดยใช้วิธีการสอบสวนค้นคว้าและปฏิบัติการทดลอง ส่วนผู้สอนจะต้องเตรียมพร้อมในเรื่องของใบประลองหรือใบทดลองผลการทดลอง (Lab Sheet) ซึ่งประกอบด้วย วัตถุประสงค์ รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ ลำดับขั้นการทดลอง ผลการทดลอง รวมทั้งคำถามปัญหาและสิ่งอื่น ๆ ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จากนั้นผู้สอนจะทำการควบคุมการทดลองจนกระทั่งผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง และจะทำการอภิปรายผลการทดลองร่วมกันระหว่างผู้เรียนและผู้สอน

โดยสรุป การสอนแบบทดลอง (Laboratory Instruction) คือ กระบวนการที่ผู้สอนจัดกิจกรรมหรือสร้างสถานการณ์ เพื่อให้ผู้เรียนได้รู้จักสังเกต สามารถพิสูจน์กฎเกณฑ์ข้อเท็จจริงจากทฤษฎีที่มีการค้นพบมาแล้ว รวมทั้งสามารถประยุกต์หลักการที่ใช้ในห้องทดลองแก้ปัญหากับงานจริงในภาคสนามได้ ทั้งนี้โดยใช้วิธีการสอบสวนค้นคว้าและปฏิบัติการทดลองเพื่อให้เกิดการเรียนรู้เกิดประสบการณ์ตรงจากปฏิบัติการทดลอง

2.4.2 ประโยชน์และความสำคัญของการสอนแบบทดลอง

ประโยชน์และความสำคัญของการสอนแบบทดลองมีดังนี้ คือ

2.4.2.1 เพื่อพิสูจน์เกี่ยวกับหลักการ กฎ สูตร และคุณสมบัติของอุปกรณ์

2.4.2.2 เพื่อพัฒนาทักษะทางสมอง เช่น การวิเคราะห์ การสอบสวน และการแก้ไขปัญหา

2.4.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ

2.4.2.4 เพื่อศึกษาเรื่องเกี่ยวข้องพฤติกรรมภายในที่สำคัญของอุปกรณ์เครื่องมือ

2.4.2.5 เพื่อเป็นการฝึกหัดการทำงานเป็นขั้นตอน

2.4.2.6 เพื่อให้รู้จักคุ้นเคยกับกลไกของเครื่องมือและอุปกรณ์

2.4.2.7 เพื่อพัฒนาความสามารถในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์

2.4.2.8 เพื่อพัฒนาความรอบคอบในการทำงาน

2.4.2.9 เพื่อเสริมสร้างจิตสำนึกในการรักษาความปลอดภัย

2.4.2.10 เพื่อประยุกต์หลักการที่ใช้ในห้องทดลองกับงานจริงใน ภาคสนามได้

2.4.2.11 เพื่อให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง

2.4.2.12 เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียนในการมีปฏิสัมพันธ์ ระหว่างความคิด หลักการ ความรู้ต่าง ๆ รวมทั้งเพื่อทำให้ผู้เรียนมองภาพรวมในเนื้อหา ของวิชานั้นได้

สรุปประโยชน์และความสำคัญของการสอนแบบทดลอง เพื่อพิสูจน์เกี่ยวกับหลักการ กฎ สูตร คุณสมบัติของอุปกรณ์ มีความคุ้นเคยกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ การทำงานเป็นขั้นตอน มีความรอบคอบและมีความปลอดภัยในการทำงาน และนำเอาความรู้หลักการประสบการณ์ตรงที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้กับงานจริงในภาคสนามได้ (ชัชวาลย์ มูลศรี. 2540 : 10-11)

การทดลองในห้องทดลอง เป็นการฝึกปฏิบัติที่มุ่งให้นักศึกษาได้เรียนรู้หลักการ และข้อเท็จจริงจากการที่คนอื่นๆ ได้ค้นพบแล้ว เป็นการทบทวนและย้ำว่าข้อเท็จจริงนั้นเป็นไปตามที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้วอย่างไรบ้าง เป็นการพิสูจน์ทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแล้วในชั้นเรียน นอกจากนั้นยังมุ่งหวังที่จะให้นักศึกษาได้คุ้นเคยกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ อย่างถูกต้อง และเหมาะสมเป็นการเริ่มต้นแนวทางประดิษฐ์ และการคิดค้นสิ่งใหม่ๆ อีกต่อไป (สุรพล ปุ้นต้นทอง. 2536 : 10)

2.4.3 การออกแบบ และสร้างชุดทดลอง

แนวทางในการออกแบบการสร้างมีลำดับขั้นตอนดังนี้ (วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2530 : 25-45)

2.4.3.1 กำหนดจุดมุ่งหมายในการนำชุดทดลองไปใช้ในการสอนจากการตัดสินใจที่จะใช้ชุดทดลองสำหรับการใช้ในการสอนเรื่องใดแล้ว จะทำให้ทราบได้ว่าชุดทดลองนำไปใช้กับนักศึกษากลุ่มใด และต้องทราบรายการวัตถุประสงค์ของเรื่องนั้น เพราะข้อมูลดังกล่าวจะนำมาใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินงานออกแบบ สร้างชุดทดลอง และกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง ขั้นตอนนี้อาจกล่าวได้ว่า เป็นขั้นตอนการศึกษาข้อมูลต่างๆ เพื่อให้การออกแบบสร้างชุดทดลองเกิดความเป็นจริง สำเร็จผลตามเป้าหมาย ควรศึกษาสภาพในการเรียนการสอน ศึกษาข้อมูลด้านวิชาการในเรื่องนั้นด้วยในบางครั้ง ถ้าหากได้มีการพัฒนามาแล้วโดยผู้อื่น ควรที่จะศึกษารายละเอียดต่างๆ ด้วย เมื่อศึกษาข้อมูลต่างๆ แล้วจึงนำมาใช้เขียนจุดประสงค์ของอุปกรณ์ และจะไม่ระบุรูปร่างทางเทคนิคเฉพาะเจาะจง สุดท้ายตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง

2.4.3.2 วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์ เป้าหมายที่สำคัญคือ ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการเลือกอุปกรณ์ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาด รูปร่าง การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น

2.4.3.3 การสร้างต้นแบบและตรวจสอบการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์ และชิ้นส่วนแล้วนำมาร่างเป็นภาพประกอบคร่าวๆ หรือร่างเป็นแบบง่ายๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างต้นแบบ ในขั้นตอนนี้อาจจะมีการประลอง หรือทดลองกลไกในหน้าที่ของอุปกรณ์บางอย่าง เพื่อให้การสร้างต้นแบบประสบผลสำเร็จ อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามต้องการ

2.4.3.4 การเขียนแบบ ในกรณีที่ออกแบบสร้างเพียงชิ้นเดียวก็ไม่จำเป็น แต่หากจะทำการผลิตหรือต้องการเก็บข้อมูลต่างๆเพื่อเป็นประโยชน์ในการดำเนินการต่อไป งานเขียนแบบนับว่ามีความสำคัญอย่างมาก แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับดำเนินการผลิตหรือการสร้าง ดังนั้น แบบงานจะต้องเป็นแบบแยกชิ้นเดี่ยว ที่มีข้อมูลอย่างครบถ้วนสำหรับช่างที่จะทำการผลิตได้ งานเขียนแบบจะต้องมีการกำหนดเป็น 4 กลุ่ม คือแบบรวม แบบประกอบกลุ่มหลัก แบบประกอบกลุ่มย่อย และแบบชิ้นเดี่ยว การเขียนแบบมีความสำคัญต่อการกำหนดราคา การวางแผนการผลิต และเก็บข้อมูลทางด้านชิ้นส่วนวัสดุของหน่วยงาน

2.4.3.5 อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไปต้องเตรียมเอกสารประกอบ หรือคู่มือการใช้งานเพื่อผู้ใช้จะได้ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องปลอดภัย และสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบสร้างอุปกรณ์นั้น โดยเฉพาะกลุ่มที่ออกแบบเพื่อใช้ในการเรียนการสอนต้องมีเอกสารประกอบสำหรับใช้ในการเรียนการสอน เอกสารที่ต้องจัดเตรียมอาจจะมีลักษณะที่แตกต่างกันตามจุดมุ่งหมายของงาน เช่น คู่มือการใช้งาน เอกสารประกอบการศึกษาการทดลอง ตำรา ใบงาน แบบฝึกหัดและแบบทดสอบ เป็นต้น

2.4.3.6 ใบงานเป็นใบสั่งงานให้กับนักศึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติ ซึ่งจะบอกลำดับขั้นในการทดลอง และแนวทางที่ใช้ในการค้นคว้าเพิ่มเติมในการปฏิบัติการ นับเป็นสื่อชนิดหนึ่ง ดังนั้นจะพบว่าใบงานมีความสำคัญต่อการเรียนการสอนภาคปฏิบัติอย่างมาก และสิ่งที่จะต้องมีไว้ในใบงานมีดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการปฏิบัติที่ชัดเจน
2. มีรายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการปฏิบัติ
3. มีลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง
4. มีวงจรที่ใช้ในการปฏิบัติ
5. มีข้อควรระวังในการปฏิบัติงาน
6. คำถามที่กระตุ้นความคิดของผู้เรียน
7. วิเคราะห์เนื้อหาวิชาปฏิบัติโดยศึกษาเพื่อวางโครงร่างลำดับความสัมพันธ์และแบ่งระดับความยาก-ง่ายของเนื้อหาวิชา ที่จะทำการออกแบบสื่อการเรียนการสอนซึ่งศึกษาจากตำรา เอกสารการสัมมนา ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษา

2.4.3.7 การทดลองจะถูกนำไปใช้ในสถานศึกษาโดยผู้วิจัย เพื่อค้นหาข้อบกพร่องต่าง ๆ เช่น ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง ความยาก ความซับซ้อน ความทนทาน ความสะดวกในการลอกเลียนแบบขึ้นมาใหม่ เป็นต้น

2.4.3.8 การปรับปรุงข้อมูล และประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดทดลอง และใบงานที่มีคุณภาพจนเป็นที่ยอมรับ

ชุดทดลองที่ทำให้การเรียนการสอนในสาขาวิชาวิศวกรรมบรรลุวัตถุประสงค์ได้จะต้องมีประสิทธิภาพสูง กล่าวคือ ค่าที่ได้จากการทดลองต้องใกล้เคียงกับค่าจริงหรือค่าที่สามารถคำนวณได้มากที่สุด การแสดงค่ารวมทั้งการทำงานควรให้ผู้เรียนสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแล้วอย่างเป็นรูปธรรม (ยืน ภู่วรวรรณ. 2534 :3)

2.5 การหาประสิทธิภาพชุดทดลอง

การเรียนการสอนในสาขาช่างอุตสาหกรรม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีชุดปฏิบัติการเป็นสื่อเพื่อใช้ประกอบการเรียนภาคปฏิบัติโดยผู้เรียนใช้ชุดปฏิบัติการทำการทดลอง เพื่อหาผลเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้เรียนจากภาคทฤษฎี ครูผู้สอนจะต้องเตรียมชุดทดลองหรือสร้างชุดทดลองเป็นสื่อการเรียนการสอน โดยเฉพาะในวิชาปฏิบัติ การมีชุดทดลองที่มีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับหลักสูตรของรายวิชา และครูผู้สอนนำไปใช้อย่างถูกต้องจะเป็นผลทำให้กระบวนการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพของชุดทดลอง หมายถึง คุณภาพของชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยวัดจากผลการปฏิบัติงานของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดทดลองและประสิทธิภาพ เป็นเครื่องมือที่สามารถทำให้ได้ข้อมูลที่ดีที่สุด เชื่อถือได้มากโดยใช้วิธีการที่สะดวก รวดเร็ว คล่องตัว แต่เสียเวลาน้อย และลงทุนน้อย และใช้แรงงานน้อย (ภัทรา นิคมานนท์. 2539 : 14)

การหาประสิทธิภาพของสื่อเพื่อให้รู้ว่าสื่อที่เลือกหรือสร้างขึ้นมาสามารถใช้สอนได้ตามที่ต้องการหรือไม่ โดยจะต้องมีการประเมินคุณภาพสื่อ (พิสิฐ เมธาภัทร และธีระพล เมธีกุล. 2539) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

2.5.1 ประสิทธิภาพในการสื่อความหมาย

2.5.1.1 ด้านวัตถุประสงค์

(1) สื่อครอบคลุมวัตถุประสงค์

(2) สื่อเหมาะสมกับระดับความยากง่ายของวัตถุประสงค์

2.5.1.2 เนื้อหาวิชาถูกต้องไม่มีจุดผิด

(1) ถูกต้องไม่มีจุดผิด

(2) แยกย่อยได้

(3) เรียงลำดับเป็นตรรก

2.5.1.3 ประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการสื่อความหมาย

(1) บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์

(2) สามารถลดการให้เนื้อหาแบบเลื่อนลอยให้มีความหมายและเป้าหมายมากขึ้น

(3) สามารถลดเวลาในการสื่อความหมายให้เข้าใจได้ดีและสั้นลง

(4) ช่วยเพิ่มกิจกรรมในการเรียนการสอนให้ผู้เรียนกระตือรือร้นมากขึ้น

(5) ดึงดูดความสนใจของผู้เรียนให้ดีขึ้น

2.5.2 องค์ประกอบที่เกี่ยวกับคน

2.5.2.1 ด้านผู้เรียน สื่อที่ใช้เหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน

2.5.2.2 ด้านผู้สอน

(1) สื่อไม่จำเป็นอาศัยความสามารถพิเศษในการใช้สอน

(2) สื่อที่ใช้เหมาะสมกับประสบการณ์ของผู้สอน

2.5.3 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับความพร้อมและการนำไปใช้งาน

2.5.3.1 ด้านวัสดุอุปกรณ์

(1) ใช้วัสดุราคาพอสมควรกับความจำเป็น

(2) ใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น

(3) อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบส่วนใหญ่หาได้ตามวิทยาลัยทั่วๆ ไป

2.5.3.2 ด้านเวลา

(1) เวลาที่ใช้ในการผลิตไม่มากนัก

(2) เวลาที่ใช้ในการแสดงสื่อนั้นไม่มากเกินไป

2.5.3.3 ด้านการใช้งาน

(1) สามารถนำไปใช้ง่าย และสะดวก

(2) ไม่ยุ่งยากในการเตรียมงาน

(3) ไม่ต้องการอุปกรณ์ช่วยพิเศษอื่นๆ ขณะนำไปใช้งาน

2.5.4 การหาประสิทธิภาพของชุดการสอน

ชัยยงค์ , สมเชาวน์ และสุดา (2531) ได้กล่าวถึงการหาประสิทธิภาพของชุดการสอนดังนี้

การทดสอบประสิทธิภาพของชุดการสอน ซึ่งตรงกับภาษาอังกฤษว่า “Developmental Testing” (การตรวจสอบพัฒนาการเพื่อให้งานดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ) หมายถึง การนำชุดการสอนไปทดลองใช้ (Try out) เพื่อปรับปรุงแล้วนำไปทดลองสอนจริง (Try run) นำผลที่ได้มาปรับปรุงแก้ไข เสร็จแล้วจึงผลิตออกมาเป็นจำนวนมาก

การทดลองใช้ หมายถึง การนำชุดการสอนที่ผลิตขึ้นเป็นต้นแบบ (Prototype) ไปทดลองใช้ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในระบบ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของชุดการสอนให้เท่ากับเกณฑ์ที่กำหนดไว้

การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพ หมายถึง ระดับประสิทธิภาพของชุดการสอนที่จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ ในการกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพจะกระทำโดยการประเมินผลพฤติกรรมของผู้เรียนที่เป็นพฤติกรรมต่อเนื่อง เรียกว่า ประสิทธิภาพของกระบวนการ และพฤติกรรมสุดท้ายเรียกว่า ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ โดยกำหนดค่าประสิทธิภาพเป็น

E_1 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ

E_2 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

E_1 / E_2 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ/ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

โดยปกติเนื้อหาที่เป็นความรู้ – ความจำ มักจะกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพไว้ 80/80, 85/85 หรือ 90/90 ส่วนเนื้อหาที่เป็นทักษะมักจะกำหนดต่ำกว่านี้ เช่น 75/75 ซึ่งการกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพไว้ว่า 80/80 นั้น หมายความว่า เมื่อเรียนจากชุดการสอนแล้ว ผู้เรียนสามารถทำแบบฝึกหัดหรืองานที่ผู้สอนมอบหมาย ได้ผลเฉลี่ยคะแนนร้อยละ 80 และทำแบบทดสอบหลังเรียนได้ผลเฉลี่ยร้อยละ 80

ในกรณีที่ประสิทธิภาพของชุดการสอนที่ผลิตขึ้นไม่เท่ากับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เนื่องจากมีตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ เช่น สภาพห้องเรียน ความพร้อมของผู้เรียน ความชำนาญในการใช้ชุดการสอนของครู จึงอนุโลมให้มีค่าความคลาดเคลื่อนไว้ $\pm$ 2.50

การหาประสิทธิภาพ เมื่อผลิตชุดการสอนแล้วจะต้องนำชุดการสอนไปหาประสิทธิภาพตามขั้นตอนดังนี้

1. ทดลองแบบเดี่ยว (1:1) คือ ทดลองกับผู้เรียน 3 คน โดยทดลองกับผู้เรียนที่มีระดับความสามารถทางการเรียน สูง ปานกลางและต่ำ นำผลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพ แก้ไขและปรับปรุงให้ดีขึ้นในขั้นนี้ E_1 / E_2 ควรมีค่าประมาณ 60/60

2. ทดลองแบบกลุ่มเล็ก (1 : 10) คือ ทดลองกับผู้เรียน 6 -10 คน โดยทดลองกับผู้เรียนที่มีระดับความสามารถทางการเรียน สูง ปานกลาง และต่ำ นำผลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพแก้ไขและปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น ในขั้นนี้ E_1 / E_2 ควรมีค่าประมาณ 70/70

3. ทดลองแบบภาคสนาม (1:100) คือ ทดลองกับผู้เรียนทั้งชั้น 30 – 100 คน นำผลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพ แล้วปรับปรุงให้สมบูรณ์อีกครั้งหนึ่ง ผลลัพธ์ในขั้นนี้ E_1 / E_2 ควรมีค่าประมาณ 80/80

4. หาประสิทธิภาพชุดการสอน เพื่อเป็นการประกันหรือยืนยันว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้นมามีประสิทธิภาพในการสอน ผู้สร้างจำเป็นต้องกำหนดเกณฑ์ขึ้นโดยคำนึงถึงหลักเกณฑ์ที่ว่าการเรียนรู้เป็นกระบวนการเพื่อช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้เรียนบรรลุผล การกำหนดเกณฑ์จำเป็นต้องคำนึงถึง “กระบวนการ” และ “ผลลัพธ์” การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพของชุดการสอนนิยมตั้งไว้ 90/90 สำหรับเนื้อหาวิชาที่เป็นความจำและไม่ต่ำกว่า 80/80 สำหรับวิชา

ทักษะ เช่น ภาษาเพราะการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมต้องการระยะเวลา ไม่สามารถเปลี่ยนและวัดผลได้ทันทีที่เรียนเสร็จไปแล้ว (สมหญิง เจริญจิตรกรรม. 2532 : 71)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชาสายส่งและสายอากาศในด้านต่าง ๆ ดังนี้

พิพัฒน์ สมใจ (2545 : บทคัดย่อ) ทำการวิจัยเรื่อง การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรออปแอมป์ วิชาปฏิบัติอิเล็กทรอนิกส์ 1 โปรแกรมวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรอนุปริญญา สถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ ผลการวิจัยซึ่งได้จากการวิเคราห์ข้อมูลปรากฏว่า ชุดปฏิบัติการวงจรออปแอมป์ วิชาปฏิบัติอิเล็กทรอนิกส์ 1 โปรแกรมวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ตามหลักสูตรอนุปริญญา สถาบันราชภัฏ กระทรวง ศึกษาธิการที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.17/83.27 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 และเป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ โดยมีประสิทธิภาพของกระบวนการวัดผล จากคะแนนสอบท้ายการทดลองเฉลี่ยได้เท่ากับ 84.17 และมีประสิทธิภาพของการทดสอบหลังการทดลองครบ 6 ใบงานได้เท่ากับ 83.27

สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี (2546 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนเทลเลอร์ PIC 16F876 ผลการวิจัยพบว่าวงจรและโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการ ไมโครคอนเทลเลอร์ PIC 16F876 ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพทางด้านการศึกษาอยู่ในเกณฑ์ดีโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.06 และมีคุณภาพทางด้านวิศวกรรมในเกณฑ์ดีมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 และมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.58 ซึ่งคุณภาพของชุดปฏิบัติการ ไมโครคอนเทลเลอร์ PIC 16F876 ที่ได้นี้เป็นไปตามสมมุติฐานการวิจัย

สุนทร ก้องสินธุ (2547 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดฝึกการเชื่อมต่อพื้นฐานไมโครคอนเทลเลอร์ตระกูล MCS-51 ผลการวิจัยพบว่า ชุดฝึกการเชื่อมต่อพื้นฐานไมโครคอนเทลเลอร์ตระกูล MCS-51 ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพทางด้านเนื้อหาในระดับดีโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.36 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.46 และมีคุณภาพทางด้านการผลิตสื่อในระดับดีมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.56 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.45 ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับสมมุติฐานการวิจัย

ยุทธพิชัย กล้าหาญ (2547 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ผู้วิจัยได้ออกแบบสร้างชุดปฏิบัติการด้วยการกำหนดเนื้อหา 4 หัวข้อ และกำหนดจุดประสงค์ทั่วไปและจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม ให้ครอบคลุมเนื้อหาของแต่ละใบปฏิบัติงาน สร้างชุดฝึก ใบปฏิบัติงานและแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยการสังเกตเพื่อใช้วัดความสามารถการปฏิบัติ และทักษะของนักศึกษาด้วยชุดปฏิบัติการ ซึ่งประกอบด้วยแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างปฏิบัติแต่ละหัวข้อใบปฏิบัติงาน และแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ขั้นสุดท้ายของการปฏิบัติงาน ผลการวิจัยพบว่าชุดปฏิบัติการที่

สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.85/85.60 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 และเป็นไปตามสมมุติฐานการวิจัย

จากการศึกษาค้นคว้า ตำรา เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้นำมาสรุป เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ที่สร้างขึ้น ควรมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์เกี่ยวกับหลักการ กฎ สูตร คุณสมบัติของอุปกรณ์ ให้นักศึกษาคุ้นเคยกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ การทำงานดำเนินไปเป็นขั้นตอน มีความรอบคอบ ความปลอดภัยในการทำงานและนำประสบการณ์ตรงที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้กับงานได้จริง

2. ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ควรประกอบด้วย แผนการสอน ใบความรู้ ใบงานการทดลอง ใบประเมินผลการทดลองที่ครอบคลุมเนื้อหาตามจุดประสงค์รายวิชาสายส่งและสายอากาศ

3. การจัดหาอุปกรณ์ในการสร้างชุดทดลองต้องหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ในการเลือกอุปกรณ์ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการทำงานขนาด รูปร่าง การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ในรายวิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ด้วยการพัฒนากระบวนการเรียนรู้โดยใช้ CIPPA MODEL ได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.3 การสร้างเครื่องมือในการวิจัย

3.4 วิธีการดำเนินการและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากร คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052304 สายส่งและสายอากาศ จำนวน 50 คน (งานทะเบียนวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์. 2/2548)

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052304 สายส่งและสายอากาศ จำนวน 20 คน เลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มอย่างง่าย แบบจับสลาก

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่

3.2.1 ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ในรายวิชาสายส่งและสายอากาศ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมา ซึ่งประกอบด้วย

(1) ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

(2) แผนการสอน จำนวน 6 หน่วยการเรียน

(3) ใบความรู้แสดงเนื้อหาพร้อมภาพประกอบ จำนวน 6 หน่วยการเรียน

(4) ใบงานการทดลอง จำนวน 6 หน่วยการเรียน

(5) แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 6 หน่วย

(6) คู่มือครู ประกอบด้วย คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ในชุดทดลอง ใบเฉลยใบงานการทดลองและแบบประเมิน

3.2.2 แบบประเมินคุณภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

3.2.3 แบบประเมินคุณภาพของใบความรู้ ใบงานการทดลอง และแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.3 การสร้างเครื่องมือในการวิจัย

3.3.1 การสร้างชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI มีขั้นตอนการสร้าง ดังนี้

(1) ทำการวิเคราะห์จุดประสงค์รายวิชา เพื่อกำหนดจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

(2) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชุดทดลอง

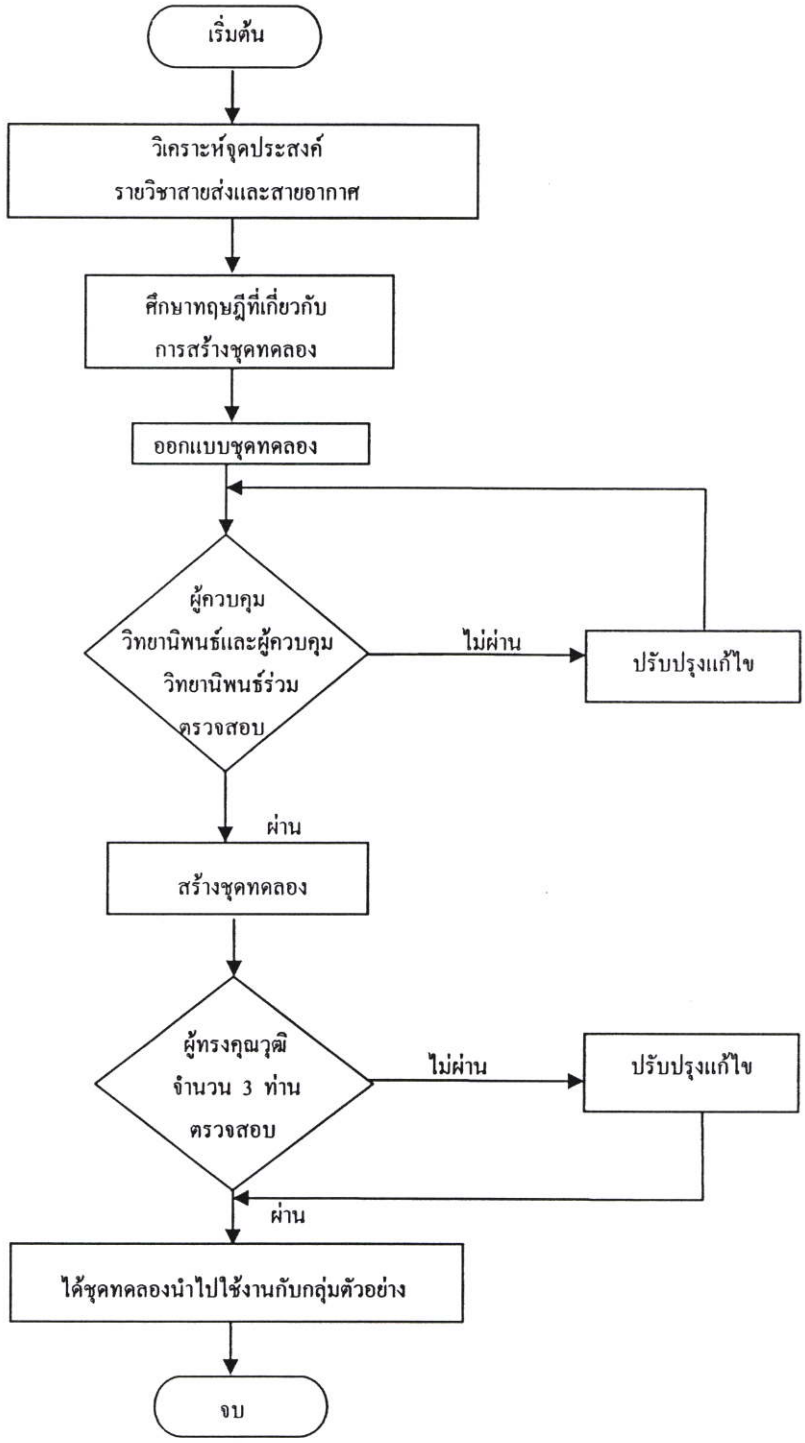
(3) ออกแบบชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI โดยให้ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบ หากมีข้อบกพร่องต้องทำการแก้ไขปรับปรุงต่อไป

(4) เมื่อผ่านการตรวจสอบจากผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมแล้วจึงทำการสร้างชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

(5) นำชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ที่สร้างขึ้นเสนอผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ตรวจสอบความเหมาะสมของชุดทดลอง

ผลการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 คน ตามรายการประเมิน 12 รายการ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.95 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ 0.10 (รายละเอียดในภาคผนวกตารางที่ จ1 : 314) ความหมายของความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก แสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิยอมรับชุดทดลองนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างได้

(6) ได้ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ที่จะนำใช้หาประสิทธิภาพชุดทดลองจากกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งลำดับขั้นตอนการสร้างชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI แสดงรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงลำดับขั้นตอนในการสร้างชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

3.3.2 การสร้างใบความรู้ ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

(1) วิเคราะห์จุดประสงค์รายวิชาสายส่งและสายอากาศ

(2) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสายอากาศแบบ YAGI

(3) ออกแบบใบความรู้ ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

(4) นำชุดทดลองพร้อมใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้ทำการออกแบบไปทดลองกับนักศึกษา แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่เคยเรียนวิชาสายส่งและสายอากาศมาแล้ว จำนวน 12 คน โดยครั้งแรกคัดเลือกนักศึกษา แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ เก่ง ปานกลาง และอ่อน กลุ่มละ 1 คน รวม 3 คน นำมาทดลองกับชุดทดลองที่สร้างขึ้นเพื่อหาข้อบกพร่อง นำผลที่ได้มาปรับปรุงชุดทดลองกลับมาใช้กับกลุ่มนักศึกษาอีกครั้ง โดยแบ่งกลุ่มนักศึกษาเป็น 3 กลุ่ม คือ เก่ง ปานกลาง และอ่อน กลุ่มละ 3 คน รวม 9 คน เพื่อหาข้อบกพร่องของชุดทดลอง

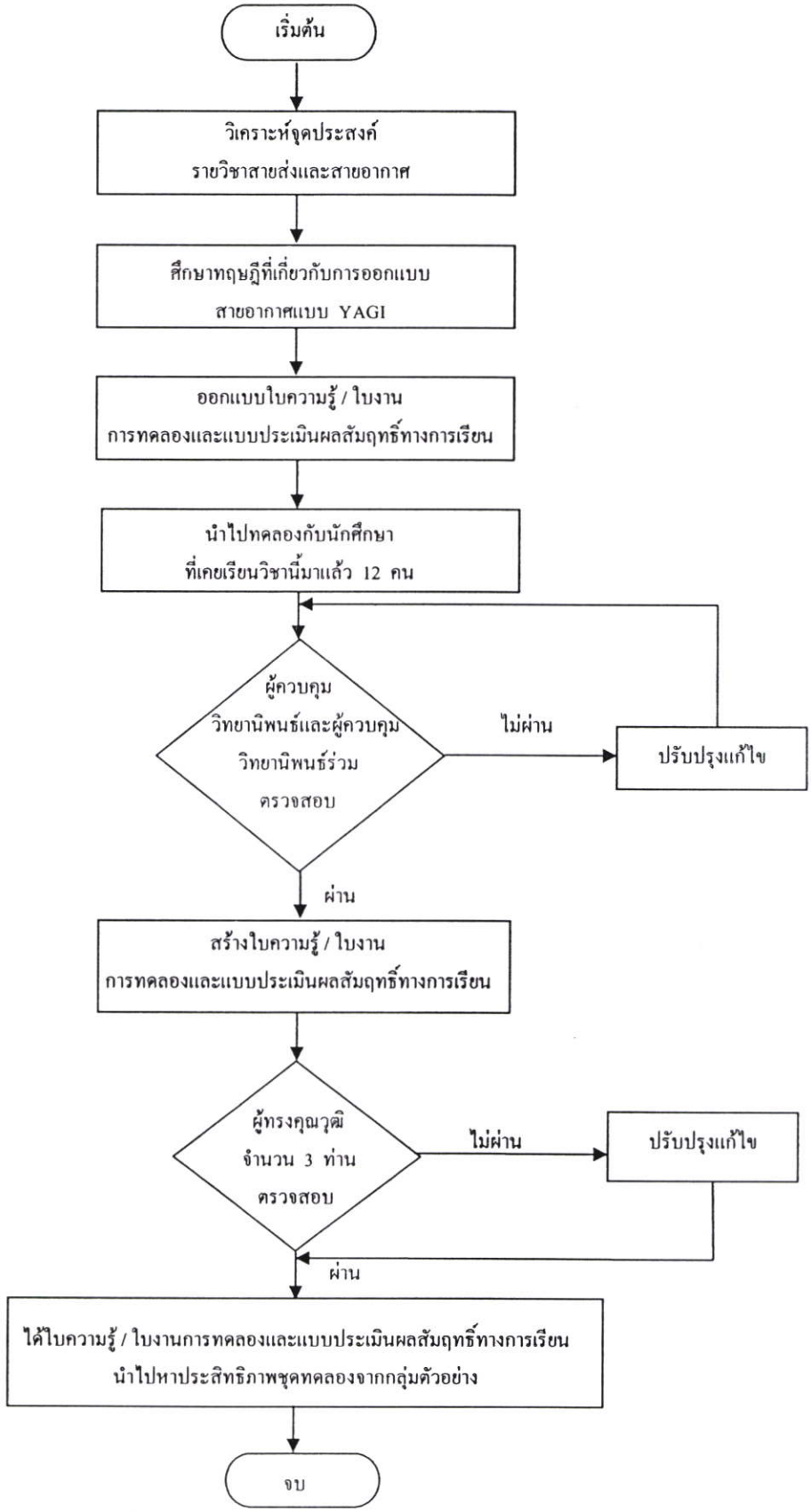
(5) นำผลการทดลองเสนอผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมตรวจสอบ หากมีข้อบกพร่องทำการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

(6) เมื่อผ่านการตรวจสอบจากผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม แล้ว ทำการสร้างใบความรู้ ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

(7) นำใบความรู้ ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ให้ผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ตรวจสอบความเหมาะสม

ผลการประเมินใบความรู้และใบงานการทดลองของผู้ทรงคุณวุฒิตามรายการประเมิน 11 รายการ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ตารางที่ จ2 : 315) ความหมายของความเหมาะสมของใบความรู้และใบงานการทดลองอยู่ในระดับดี แสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิยอมรับใบความรู้และใบงานการทดลอง และตามรายการประเมินแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน รวมทั้งหมด 7 รายการ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.26 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.32 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ตารางที่ จ10 : 323) ความหมายของความเหมาะสมของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนอยู่ในระดับดี แสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิยอมรับแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สามารถนำไปใช้ในการเก็บข้อมูลกับกลุ่มตัวอย่างได้

(8) ได้ใบความรู้ ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนพร้อมที่จะนำไปใช้หาประสิทธิภาพชุดทดลองจากกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งมีลำดับการสร้าง แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงลำดับขั้นตอนในการสร้างใบความรู้ / ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

3.3.3 วิธีการประเมินคุณภาพของเครื่องมือ

3.3.3.1 เกณฑ์การประเมินคุณภาพของเครื่องมือ ใช้วิธีการประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือจากแบบประเมินความเหมาะสม ซึ่งจะใช้เป็นมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน ดังนี้

5 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก
4 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี
3 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง
2 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้
1 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

3.3.3.2 เกณฑ์การประเมินความเหมาะสมชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI จัดระดับค่าเฉลี่ย 5 ระดับ ดังนี้

4.50 - 5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก
3.50 - 4.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี
2.50 - 3.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง
1.50 - 2.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้
1.00 - 1.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

โดยเกณฑ์การประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ต้องมีค่าเฉลี่ยมากกว่า 3.50 ขึ้นไป จึงจะถือว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีคุณภาพ

3.3.4 การตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ

3.3.4.1 ชุดทดลอง ผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ด้วยการสร้างแบบประเมินความเหมาะสมของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยผู้ทรงคุณวุฒิ ประกอบด้วย

(1) นายสมบูรณ์ เนียมกล่ำ นักพัฒนาทรัพยากรบุคคล 8 ว สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
(2) นายอำนวย สุปะติ อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่าง อิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์
(3) นายไชยวัฒน์ วงษ์สมศรี หัวหน้าแผนกวิชาช่าง อิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด

3.3.4.2 ใบความรู้ ใบงานการทดลอง และแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณภาพของใบความรู้ ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการ

เรียนด้วยการสร้างแบบประเมินความเหมาะสมของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อใบความรู้ ใบงานการทดลอง และแบบบ่ระเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นโดยผู้ทรงคุณวุฒิ ประกอบด้วย

(1) นายมนตรี พรหมเพ็ชร	ศึกษานิเทศก์ 8 ศูนย์วิจัยและพัฒนาอาชีวศึกษา สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา
(2) นายอุดม ภาษี	อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด
(3) นายวิวัฒน์ ปุยะติ	อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์

3.4 วิธีการดำเนินการ และเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI มีขั้นตอนดังนี้

3.4.1 ขอหนังสือจากงานบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถึงผู้ทรงคุณวุฒิ 6 คน เพื่อขอความร่วมมือในการวิจัยและเข้าชี้แจงรายละเอียดต่าง ๆ กับผู้ทรงคุณวุฒิด้วยตนเอง เพื่อขอคำยืนยันยินดีตอบรับในการประเมินคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

3.4.2 นำชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ใบความรู้ ใบงานการทดลอง พร้อมแนบแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลอง ใบความรู้ ใบงานทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ส่งมอบให้กับผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพ

3.4.3 ขอหนังสือจากงานบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถึงสถานศึกษาวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ เพื่อขออนุญาตในการนำชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้

3.4.4 นำชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI มาดำเนินการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052304 วิชาสายส่งและสายอากาศ จำนวน 20 คน ภาคเรียนที่ 2/2548 จากนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนทั้งหมด 50 คนเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยวิธีการสุ่มอย่างง่ายแบบจับสลาก โดยมีการทดลอง 6 หน่วยการเรียน ในแต่ละการทดลองจะมีการประเมินระหว่างการปฏิบัติการทดลองตามแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เมื่อทดลองครบทั้ง 6 หน่วยการเรียนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย ผู้ประเมินประกอบด้วย ผู้วิจัยซึ่งเป็นอาจารย์ประจำวิชาสายส่งและสายอากาศ และอาจารย์แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ 1 ท่าน นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ตามวิธีการสถิติ

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านแบบประเมินคุณภาพชุดทดลอง ใบความรู้ ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ได้กำหนดระดับความคิดเห็นเป็นค่าน้ำหนักคะแนน 5 ระดับ คือ (Best John W.1970 : 179-187)

5 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก

4 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี

3 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

2 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

1 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

เกณฑ์การประเมินคุณภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI จัดระดับค่าเฉลี่ย 5 ระดับ ดังนี้

4.50 - 5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก

3.50 - 4.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี

2.50 - 3.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

1.50 - 2.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

1.00 - 1.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

โดยเกณฑ์การประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ต้องมีค่าเฉลี่ยมากกว่า 3.50 ขึ้นไป จึงจะถือว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีคุณภาพ

3.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ต้องมีเกณฑ์ไม่ต่ำกว่า 80/80

3.5.3 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) สุวิมล ว่องวานิช 2546 :296 หมายถึง การกระจายของข้อมูลชุดนั้นในลักษณะที่ว่าข้อมูลแต่ละค่ากระจายหรือแตกต่างจากค่าเฉลี่ยโดยเฉลี่ยเท่าไร ถ้าข้อมูลแต่ละตัวแตกต่างจากค่าเฉลี่ยมาก จะทำให้ได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากถ้าข้อมูลแต่ละตัวมีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยน้อย ส่วยเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณได้จะมีค่าน้อย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะเป็นค่าที่สะท้อนความเป็นตัวแทนของค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อย แสดงว่าค่าเฉลี่ยจะเป็นตัวแทนที่ดีของข้อมูล สำหรับข้อมูลชุดที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก เป็นข้อมูลที่การกระจายมาก

3.6 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นได้ทำแบบประเมินคุณภาพชุดทดลอง ใบความรู้และใบงานการทดลอง ที่ได้จากผู้ทรงคุณวุฒิมาประเมินหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้สถิติดังนี้

3.6.1 การหาค่าเฉลี่ยโดยนำคะแนนของข้อมูลทั้งหมดรวมกันหารด้วยจำนวนคะแนนของข้อมูล (Berk, R.A. 1979 : 650-669)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

$\sum X$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3.6.2 การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ใช้สูตรดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ S.D. คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N คือ จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมด

$\sum X$ คือ คะแนนของผู้ทรงวุฒิแต่ละคน

$\sum X^2$ คือ ผลรวมของคะแนนของผู้ทรงคุณวุฒิ

3.6.3 สูตรคำนวณหาประสิทธิภาพของชุดทดลอง (ยันยงค์,สมเชาวน์ และสุดา. 2531)

$$E_1 = \frac{\left[\frac{\sum X}{N}\right]}{A} \times 100 \quad : \quad E_2 = \frac{\left[\frac{\sum Y}{N}\right]}{B} \times 100$$

เมื่อ E_1 คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลอง

E_2 คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย

$\sum X$ คือ คะแนนรวมของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหน่วยใบทดลองที่ 1-6

$\sum Y$ คือ คะแนนรวมของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย

A คือ คะแนนเต็มของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลอง

B คือ คะแนนเต็มของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย

N คือ จำนวนผู้เรียนทั้งหมด

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา โดยนำเนื้อหาในส่วนของสายอากาศแบบ YAGI มาสร้างเป็นชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI เมื่อสร้างชุดทดลองเสร็จแล้ว ได้นำไปใช้ทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80/80 โดยวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติและเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับ ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของใบความรู้และใบงานการทดลอง

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

4.4 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

การประเมินคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ ผลการประเมินมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิด้านชุดทดลอง

ข้อที่	รายการประเมิน	n = 3		ระดับคุณภาพ
		$\overline{X}$	S.D	
1	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน.....	5.00	0.00	ดีมาก
2	อุปกรณ์ทดลองให้ประสบการณ์ในการเรียนรู้	5.00	0.00	ดีมาก
3	นักเรียนมีส่วนร่วมในการใช้อุปกรณ์.....	5.00	0.00	ดีมาก
4	ความเหมาะสมในการจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์.....	5.00	0.00	ดีมาก
5	มีความสัมพันธ์การใช้งานร่วมกับใบงาน.....	4.67	0.58	ดีมาก
6	มีความสะดวกในการดำเนินการสอน.....	5.00	0.00	ดีมาก
7	ความปลอดภัยในขณะทำงานทดลอง.....	4.67	0.58	ดีมาก

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ข้อที่	รายการประเมิน	n = 3		ระดับคุณภาพ
		$\overline{X}$	S.D	
8	สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียน.....	5.00	0.00	ดีมาก
9	ขนาดมีความเหมาะสม.....	5.00	0.00	ดีมาก
10	มีวิธีการใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน.....	5.00	0.00	ดีมาก
11	ความสะดวกในการบำรุงรักษา.....	5.00	0.00	ดีมาก
12	มีความคงทนแข็งแรง.....	5.00	0.00	ดีมาก
รวม		4.95	0.10	ดีมาก

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าผู้ทรงคุณวุฒิด้านชุดทดลอง มีความคิดเห็นแบ่งตามหัวข้อรายการประเมินดังนี้ (1) เหมาะสมกับระดับผู้เรียน (2) อุปกรณ์ทดลองให้ประสบการณ์ในการเรียนรู้ (3) นักเรียนมีส่วนร่วมในการใช้อุปกรณ์ (4) ความเหมาะสมในการจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ (6) มีความสะดวกในการดำเนินการสอน (8) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียน (9) ขนาดมีความเหมาะสม (10) มีวิธีการใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน (11) ความสะดวกในการบำรุงรักษา (12) มีความคงทนแข็งแรง โดยมีความคิดเห็นอยู่ในระดับดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.00 ไม่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน รองลงมาคือ (5) มีความสัมพันธ์การใช้งานร่วมกับใบงาน (7) ความปลอดภัยในขณะทำงานทดลอง โดยมีความคิดเห็นอยู่ในระดับดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58

ดังนั้น สรุปโดยรวมผู้ทรงคุณวุฒิด้านชุดทดลอง จำนวน 3 ท่าน มีความคิดเห็นว่าคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดีมาก ด้วยค่าเฉลี่ย 4.95 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10 แสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิมีความคิดเห็นใกล้เคียงกันมาก

4.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของใบความรู้และใบงานการทดลอง

การประเมินคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ด้านใบความรู้และใบงานการทดลอง ทำการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิ ผลการประเมินมีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและระดับความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ด้านใบความรู้และใบงานการทดลอง

ข้อที่	รายการประเมิน	n = 3		ระดับคุณภาพ
		$\overline{X}$	S.D	
1	เนื้อหาครอบคลุมวัตถุประสงค์.....	4.67	0.58	ดีมาก
2	ความถูกต้องของเนื้อหา.....	4.67	0.58	ดีมาก
3	การเรียงลำดับเนื้อหาวิชาก่อนหลัง.....	4.67	0.58	ดีมาก
4	ความยากง่ายของเนื้อหา.....	4.33	0.58	ดี
5	เนื้อหาก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียน.....	4.33	0.58	ดี
6	ความเหมาะสมกับผู้เรียน.....	4.67	0.58	ดีมาก
รวม		4.56	0.58	ดีมาก

จากตารางที่ 4.2 แสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิด้านใบความรู้และใบงานการทดลอง มีความคิดเห็นโดยแบ่งตามหัวข้อรายการประเมิน (1) เนื้อหาครอบคลุมวัตถุประสงค์ (2) ความถูกต้องของเนื้อหา (3) การเรียงลำดับเนื้อหาวิชาก่อนหลัง (6) ความเหมาะสมกับผู้เรียน โดยมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 รองลงมาคือ (4) ความยากง่ายของเนื้อหา (5) เนื้อหาก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียน โดยมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58

ดังนั้น สรุปโดยรวมผู้ทรงคุณวุฒิด้านใบความรู้และใบงาน จำนวน 3 ท่าน มีความคิดเห็นว่า คุณภาพของใบความรู้ในชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดีมาก ด้วยค่าเฉลี่ย 4.56 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 แสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิมีความคิดเห็นใกล้เคียงกันมาก

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ข้อที่	รายการประเมิน	n = 3		ระดับคุณภาพ
		$\overline{X}$	S.D	
7	ความเหมาะสมกับลำดับขั้นความรู้.....	4.67	0.58	ดีมาก
8	ความชัดเจนในการอธิบายลำดับการทดลองแต่ละขั้น	4.33	0.58	ดี
9	คำอธิบายลำดับขั้นการปฏิบัติเข้าใจง่าย.....	4.33	0.58	ดี
10	รูปวงจร ตารางกราฟเหมาะสม.....	4.33	0.58	ดี
11	ความสะดวกในการบันทึกค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง	4.67	0.58	ดีมาก
รวม		4.46	0.58	ดี

จากตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิด้านใบงานการทดลอง มีความคิดเห็นโดยแบ่งตามหัวข้อรายการประเมิน ดังนี้ (7) ความเหมาะสมกับลำดับขั้นความรู้ (11) ความสะดวกในการบันทึกค่าต่างๆ ที่ได้จากการทดลอง โดยมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.67 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 รองลงมาคือ (8) ความชัดเจนในการอธิบายลำดับการทดลองแต่ละขั้น (9) คำอธิบายลำดับขั้นการปฏิบัติเข้าใจง่าย (10) รูปวงจร ตารางกราฟเหมาะสม โดยมีคุณภาพอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58

ดังนั้น สรุปโดยรวมผู้ทรงคุณวุฒิด้านใบงานการทดลอง จำนวน 3 ท่าน มีความคิดเห็นว่าคุณภาพของใบงานการทดลองสายอากาศแบบ YAGI ที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดี ด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.46 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58 แสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิมีความคิดเห็นใกล้เคียงกันมาก

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทุกหน่วยการเรียนและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย

หน่วยที่	ชื่อหน่วยการเรียน	n = 3		ระดับคุณภาพ
		$\overline{X}$	S.D	
1	ระบบสายอากาศโทรทัศน์	4.21	0.29	ดี
2	คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน	4.34	0.29	ดี
3	การเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณระหว่างสายส่งและสายอากาศ	4.13	0.23	ดี
4	การใช้ Balun และ Stub Matching	4.37	0.25	ดี
5	การแมทช์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณและการ Stacking สายอากาศ	4.30	0.46	ดี
6	การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI	4.25	0.41	ดี
	แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย	4.25	0.32	ดี
รวม		4.26	0.32	ดี

จากตารางที่ 4.3 แสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมีความคิดเห็นโดยแบ่งตามหัวข้อการประเมิน จำนวน 6 หน่วยการเรียนและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย สรุปโดยรวมว่าผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่านมีความคิดเห็นว่า คุณภาพของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทุกหน่วยการเรียนและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้ายที่สร้างขึ้นมีคุณภาพอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.26 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.32 แสดงว่าผู้ทรงคุณวุฒิมีความคิดเห็นใกล้เคียงกันมาก (รายละเอียดที่มาของคะแนนดังภาคผนวก ตารางที่ จ3 – จ9 : 293 – 299)

4.4 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

ตารางที่ 4.4 แสดงคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลองหน่วยที่ 1-6 และคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้ายของนักศึกษา จำนวน 20 คน

คนที่	คะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลองใบงานหน่วยที่ 1 – 6 ของนักศึกษา (เต็ม 600 คะแนน)	คะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้ายของนักศึกษา (เต็ม 100 คะแนน)
1	538	93
2	542	94
3	538	93
4	540	91
5	555	93
6	536	94
7	549	94
8	506	89
9	537	93
10	550	95
11	559	93
12	533	89
13	552	94
14	522	87
15	549	94
16	547	93
17	545	94
18	480	83
19	547	91
20	533	91
	$\overline{X}$ = 537.90	$\overline{X}$ = 91.90

จากตารางที่ 4.4 สรุปว่าคะแนนจากแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลอง หน่วยที่ 1 – 6 ของนักศึกษา จำนวน 20 คน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 537.90 จากคะแนนเต็ม 600 คะแนน และคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้ายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 91.90 จากคะแนนเต็ม 100 คะแนน (รายละเอียดที่มาของคะแนน ดังภาคผนวก ตารางที่ จ10 – จ11 : 300 – 301)

ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

รายการ	n = 20			
	คะแนนเต็ม	คะแนนที่ได้	ร้อยละ	เกณฑ์ร้อยละ
คะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลองของกลุ่มตัวอย่าง	600	537.90	89.00	80
คะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้ายของกลุ่มตัวอย่าง	100	91.90	91.90	80

จากตารางที่ 4.5 ผลปรากฏว่า ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ที่สร้างขึ้น นักศึกษาทำคะแนนจากแบบประเมินระหว่างปฏิบัติการทดลอง เฉลี่ยได้ 537.90 คะแนน จากคะแนนเต็มทั้งหมด 600 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 89.00 และทำคะแนนจากแบบประเมินขั้นสุดท้าย เฉลี่ยได้ 91.90 คะแนน จากคะแนนเต็ม 100 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 91.90

ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ดังนั้น สรุปว่ามีประสิทธิภาพเท่ากับ 89.00/91.90 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ 80/80

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ได้สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

5.1.1 เพื่อสร้างชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ในรายวิชาสายส่งและสายอากาศตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

5.1.2 เพื่อหาประสิทธิภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ในรายวิชาสายส่งและสายอากาศตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา

5.2 สมมุติฐานของการวิจัย

ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI เป็นส่วนหนึ่งในรายวิชาสายส่งและสายอากาศตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด 80/80

5.3 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

5.3.1 ประชากร คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052304 สายส่งและสายอากาศ จำนวน 50 คน (งานทะเบียนวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์.2/2548)

5.3.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052304 สายส่งและสายอากาศ จำนวน 20 คน เลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มอย่างง่ายแบบจับสลาก

5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่

5.4.1 ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ในรายวิชาสายส่งและสายอากาศ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมา ซึ่งประกอบด้วย

(1) ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

(2) แผนการสอน จำนวน 6 หน่วยการเรียน

(3) ใบความรู้แสดงเนื้อหาพร้อมภาพประกอบ จำนวน 6 หน่วยการเรียน

(4) ใบงานการทดลอง จำนวน 6 หน่วยการเรียน

(5) แบบประเมินการปฏิบัติงาน จำนวน 6 หน่วย

(6) คู่มือครู ประกอบด้วย คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ในชุดทดลอง ใบเฉลยใบงานการทดลองและแบบประเมิน

5.4.2 แบบประเมินคุณภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

5.4.3 แบบประเมินคุณภาพของใบความรู้ ใบงานการทดลอง และแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

5.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI มีขั้นตอนดังนี้

5.5.1 ขอหนังสือจากงานบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถึงผู้ทรงคุณวุฒิ 6 ท่าน เพื่อขอความร่วมมือในการวิจัยและเข้าชี้แจงรายละเอียดต่าง ๆ กับผู้ทรงคุณวุฒิด้วยตนเอง เพื่อขอคำยืนยันยินดีตอบรับในการประเมินคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

5.5.2 นำชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ใบความรู้ ใบงานการทดลอง พร้อมแนบแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลอง ใบความรู้ ใบงานการทดลอง และแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ส่งมอบให้กับผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพ

5.5.3 ขอหนังสือจากงานบัณฑิตศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถึงสถานศึกษาวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ เพื่อขออนุญาตในการนำชุดทดลองเรื่อง สายอากาศแบบ YAGI ใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้

5.5.4 นำชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI มาดำเนินการทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิชาช่างไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่ลงทะเบียนเรียนวิชา 31052304 วิชาสาย

ส่งและสายอากาศ จำนวน 20 คน ภาคเรียนที่ 2/2548 จากนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนทั้งหมด 50 คนเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยวิธีการสุ่มอย่างง่ายแบบจับสลาก โดยมีการทดลอง 6 หน่วยการเรียน ในแต่ละการทดลองจะมีการประเมินระหว่างการปฏิบัติการทดลองตามแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เมื่อทดลองครบทั้ง 6 หน่วยการเรียนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย ผู้ประเมินประกอบด้วย ผู้วิจัยซึ่งเป็นอาจารย์ประจำวิชาสายส่งและสายอากาศ และอาจารย์แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ 1 ท่าน นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ตามวิธีการสถิติ

5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

5.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านแบบประเมินคุณภาพชุดทดลอง ใบความรู้ ใบงานการทดลองและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ได้กำหนดระดับความคิดเห็นเป็นค่าน้ำหนักคะแนน 5 ระดับ คือ

5 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก

4 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี

3 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

2 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

1 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

เกณฑ์การประเมินคุณภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI จัดระดับค่าเฉลี่ย 5 ระดับ ดังนี้

4.50 - 5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก

3.50 - 4.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับดี

2.50 - 3.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

1.50 - 2.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับพอใช้

1.00 - 1.49 หมายถึง มีความเหมาะสมอยู่ในระดับควรปรับปรุง

โดยเกณฑ์การประเมินความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ต้องมีค่าเฉลี่ยมากกว่า 3.50 ขึ้นไป จึงจะถือว่าเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมีคุณภาพ

5.6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จากกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ต้องมีเกณฑ์ไม่ต่ำกว่า 80/80

5.7 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว สามารถนำมาสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.7.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI

คุณภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI จากความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.95 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.10

5.7.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของใบความรู้และใบงานการทดลอง

คุณภาพของใบความรู้และใบงานการทดลอง ที่ได้จากความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน อยู่ในเกณฑ์ดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.58

5.7.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

คุณภาพของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ได้จากความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ทั้ง 6 หน่วยการเรียนและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.26 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.32

5.8 อภิปรายผลการวิจัย

5.8.1 ผลการวิเคราะห์จากแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ด้านชุดทดลองจากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.95 มีความหมายของระดับคุณภาพในระดับดีมาก (ภาคผนวก ตารางที่ จ1 : 314) สืบเนื่องจากในการออกแบบสร้างชุดทดลอง ผู้วิจัยได้ใช้แนวทางในการออกแบบสอดคล้องกับการออกแบบของ วัลลภ จันทร์ตระกูล (2530 : 25 - 45) ดังนี้

(1) กำหนดจุดมุ่งหมายในการนำชุดทดลองไปใช้ในการสอน โดยพิจารณาจากวัตถุประสงค์ ของการทดลองจากใบงานการทดลอง เพราะข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลในการดำเนินงานออกแบบสร้างชุดทดลอง และกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง

(2) ผู้วิจัยได้วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์ โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาดรูปร่าง การบำรุงรักษา ความคงทน มีราคาถูกและหาได้ง่ายตามท้องตลาด

(3) อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้าง มีการเตรียมคู่มือการใช้งานเพื่อผู้ใช้จะได้ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง ปลอดภัย และสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบในการสร้างชุดทดลอง

5.8.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของใบความรู้ และใบงานการทดลองของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI จากแบบประเมินคุณภาพผ่านผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน มีค่าเฉลี่ย 4.52 มีความหมายของระดับคุณภาพในระดับดี (ภาคผนวกตารางที่ จ2 : 315) สืบเนื่องจากการออกแบบสร้างใบความรู้

และใบงานการทดลอง ได้ใช้แนวทางในการออกแบบสอดคล้องกับการออกแบบของ พิสิฐ เมธาภัทร และธีระพล เมธีกุล (2539) ดังนี้

(1) ใบความรู้และใบงานการทดลอง มีความครอบคลุมและเหมาะสมกับระดับความยากง่ายของวัตถุประสงค์

(2) เนื้อหามีความถูกต้อง ไม่มีจุดผิด และแยกย่อยได้

(3) สามารถลดเนื้อหาแบบเลื่อนลอยให้มีความหมาย และมีเป้าหมายมากขึ้น ดึงดูดความสนใจของผู้เรียน

5.8.3 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI กับกลุ่มตัวอย่าง 20 คน เมื่อพิจารณาแล้วปรากฏว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่ได้คะแนนจากแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบงาน และจากคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย คิดเป็นร้อยละ 89.00/91.90 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 ซึ่งสอดคล้องกับ ยุทธพิชัย กล้าหาญ (2547 : บทคัดย่อ) ที่ได้ทำการวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่ ซึ่งผลการวิจัยของชุดปฏิบัติการที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.85/85.60

จากการหาประสิทธิภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ปรากฏว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบงานคิดเป็นร้อยละ 89.00 มีค่าน้อยกว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย คิดเป็นร้อยละ 91.90 เนื่องจากการประเมินระหว่างการปฏิบัติการทดลอง มีรายละเอียดในการประเมินมาก มีการตอบคำถามท้ายการทดลองและแบบประเมินท้ายการทดลอง ซึ่งจะต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจ และความจำ ส่วนการประเมิน ผลสัมฤทธิ์ขั้นสุดท้ายเป็นการนำเอาความรู้จากการเรียน หน่วยที่ 1 – 6 มาประยุกต์ใช้งานจริง จึงทำให้ผลของประสิทธิภาพระหว่างเรียนมีค่าน้อยกว่าผลของประสิทธิภาพขั้นสุดท้าย

5.9 ข้อเสนอแนะ

5.9.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ในการวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ซึ่งในการสร้างชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI จำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้หลายด้าน จึงจะทำให้การสร้างชุดทดลองประสบผลสำเร็จ โดยต้องมีความรู้เรื่องงานกลึงโลหะ ซึ่งผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์แผนกช่างกลโรงงาน ในการเขียนแบบและกลึงชิ้นงานส่วนประกอบของสายอากาศ ได้แก่ ตัวรีเฟลกเตอร์ ไดเรกเตอร์ และดริเว่นอิลิเมนต์ ได้รับคำชี้แนะจากอาจารย์แผนกวิชาช่างเชื่อมโลหะ ในการพับและเจาะชิ้นงานในส่วนของตัวกล่องใส่อุปกรณ์การตรวจสอบได้รับคำชี้แนะจากอาจารย์แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ในการเลือกใช้เครื่องมือทดสอบที่จำเป็นต่อการใช้งาน และได้รับความอนุเคราะห์จากผู้บริหารสถานศึกษา วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ที่

ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณในการจัดสร้างเครื่องมือ สถานที่ในการทดสอบเครื่องมือและบุคลากร เพื่อให้ต้นทุนในการผลิตมีราคาถูกและเมื่อชำรุดสามารถหาอุปกรณ์ทดแทนได้ง่าย ผู้วิจัยจึงใช้ชิ้นงานทุกชิ้นที่สามารถจัดหาได้ภายในประเทศ

การหาผลสัมฤทธิ์ของชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ที่สร้างขึ้นมีเกณฑ์ 89.00/91.90 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน 80/80 นั้น เนื่องจาก กลุ่มตัวอย่างที่ได้จากนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ปีที่ 2 แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาสายส่งสายและอากาศ มีความตั้งใจในการทำงานใช้ชุดทดลอง จึงทำให้ผลสัมฤทธิ์ในการทดลองอยู่ในเกณฑ์สูง

ผู้วิจัยมีความประสงค์จะให้ชุดทดลองที่สร้างขึ้นเป็นต้นแบบ ในการที่นำไปสร้างและพัฒนาใช้ในสถานศึกษาที่มีการจัดการเรียนการสอนสายอาชีพต่อไป โดยประสงค์จะให้เกิดประโยชน์กับบุคคล 2 กลุ่ม ดังต่อไปนี้

(1) กลุ่มนักศึกษา นักศึกษาสามารถศึกษาชุดทดลองเรื่องสายอากาศแบบ YAGI โดย เรียงลำดับพื้นฐาน จากหน่วยที่ 1 คือ ระบบสายอากาศโทรทัศน์ ซึ่งเป็นประสบการณ์เดิมที่นักศึกษาเคยได้ศึกษาในวิชาเครื่องรับโทรทัศน์มาแล้ว เพื่อสร้างความรู้ใหม่เกี่ยวกับสายอากาศแบบ YAGI และหน่วยที่ 2 ถึงหน่วยที่ 5 ให้นักศึกษาได้เรียนรู้กระบวนการและวิธีการปรับแต่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ตลอดจนการใช้เครื่องมือทดสอบหาประสิทธิภาพของสายอากาศ และหน่วยที่ 6 เป็นการศึกษาเรื่องการออกแบบสายอากาศแบบ YAGI

(2) กลุ่มครูผู้สอนในรายวิชา สายส่งและสายอากาศ สามารถนำชุดทดลองที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นไปใช้ประกอบการเรียนการสอน โดยผู้วิจัยได้สร้างใบความรู้ ใบงานการทดลองพร้อมทั้งคู่มือครู เพื่อให้ครูผู้สอนสามารถใช้ชุดทดลองได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ

5.9.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ควรสร้างใบความรู้ และใบงานการทดลองในรายวิชา สายส่งและสายอากาศเพิ่มเติมเพื่อให้ครบตามหลักสูตร

(2) ควรทำการศึกษาตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับชุดทดลอง เช่น ความเหมาะสมของเครื่องมือที่ใช้ จำนวนกลุ่มตัวอย่างและอื่น ๆ

(3) ควรใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบสายอากาศ เพื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบด้วยชุดทดลองที่สร้างขึ้น

บรรณานุกรม

กรมอาชีวศึกษา. 2545. **วิสัยทัศน์กรมอาชีวศึกษา พ.ศ. 2545 – 2549 : กระทรวงศึกษาธิการ.**

กรมอาชีวศึกษา. 2546. **หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 : กระทรวงศึกษาธิการ.**

งานทะเบียนวิทยาลัยเทคนิค. 2548.**รายชื่อนักศึกษาวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ภาคเรียนที่ 2/2548** : วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์.

ชัชวาลย์ มูลศรี. 2540. **การพัฒนาชุดประลองสำหรับการสอนภาคปฏิบัติแบบจำลองเรื่องวงจรทรานซิสเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Pspice Version 6.1 for Windows 3.11.** วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์ , สมเชาวน์ เนตรประเสริฐ , และสุดา สินสกุล.2531. **ระบบสื่อสารสอน.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทนง โชติสรยุทธ์.2537. **รวมบทความและโครงงานวิทยุสมัครเล่น**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ทิศนา แขมมณี. **การจัดการเรียนการสอนแบบผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง : โมเดล CIPPA**. เอกสารประกอบการนำเสนอวัตกรรมทางการเรียนการสอนเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนในการประชุมวิชาการเรื่องโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกับการจัดการศึกษาสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน. วันศุกร์ที่ 4 ธันวาคม 2541, หน้า 28-31.

นภัทร วัจนเทพินทร์. 2534. **การสร้างและทดลองหาประสิทธิภาพของชุดประลองวงจรพัลซ์และสวิตชิ่ง .** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

บุญชัด เนติศักดิ์. 2541. **ทฤษฎีและปฏิบัติเครื่องรับโทรทัศน์** . กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

บุญมี พันธุ์ไทย. 2542. **การวิจัยในชั้นเรียน** .กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

พวงทอง มีมั่นคง. 2537. **การสอนวิชาวิทยาศาสตร์ ระดับประถมศึกษา.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์พัฒนาการศึกษา.

พัฒนาการศึกษา. **พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542.**

พิพัฒน์ สมใจ . 2545. **การสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดปฏิบัติการวงจรออปแอมป์ วิชาปฏิบัติอิเล็กทรอนิกส์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรอนุปริญญา สถาบันราชภัฏ กระทรวงศึกษาธิการ.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง.

พิสิฐ เมธาภัทร และธีระพล เมธีกุล. 2539. **ยุทธวิธีการสอนวิชาเทคนิค**.กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ภัทรา นิคมานนท์. 2539. **การวัดและการประเมินผลและการสร้างแบบทดสอบ.** กรุงเทพฯ : อักษรบัณฑิต.

ยืน ภู่วรวรรณ. 2534 **.หลักการและแนวทางการจัดหาครุภัณฑ์การศึกษาในสาขางานวิศวกรรม.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุทธพิชัย กล้าหาญ. 2547. **การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดปฏิบัติการวงจรกรองความถี่วิชาออปแอมป์และลิเนียไอซี หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง.

วรกิต วัดข้าวหลาม. 2540. **ชุดการสอนหลักการทฤษฎีและแนวปฏิบัติ การผลิตและการใช้.** ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2530. **แนวทางการออกแบบอุปกรณ์ช่วยสอนประเภทอุปกรณ์สาธิต.** วารสารอาชีวศึกษา.

สมหญิง เจริญจิตรกรรม.2532. **เทคโนโลยีทางการศึกษาเบื้องต้น.** นครปฐม : มหาวิทยาลัยศิลปากร

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี. **แผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติ ฉบับที่ 9 พ.ศ. 2545 – 2549.**

สุนทร ก้องสินธุ. 2547. **การพัฒนาชุดฝึกการเชื่อมต่อพื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51.** วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี. 2546. **การออกแบบวงจรสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876.** วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สุรพล ปุ้นต้นทอง. 2536. **การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองการปฏิบัติการเครื่องมือวัดดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์.** วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

สุวิมล ว่องวาณิช. 2546. **การประเมินผลการเรียนรู้แนวใหม่.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Berk,R.A . 1979. "The Construction of Rating Instruments for Faculty Evaluation : A Review of Methodology Issues." **Journal of Higher Education.** 50 : 650 – 669.

Best John W. 1970. **Research in Education**. Englewood Cliffs, Ns : Prentice Hall.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก หนังสือราชการ

ภาคผนวก ข แผนการสอนและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ภาคผนวก ค คู่มือครูและเฉลยแบบประเมิน

ภาคผนวก ง แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือวิจัย

ภาคผนวก จ ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

ภาคผนวก ฉ รูปแบบชุดทดลองสายอากาศ

ภาคผนวก ก
หนังสือราชการ

ประกาศบัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

.....

บัณฑิตวิทยาลัย โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ขอประกาศรายชื่อหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ที่ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการดังนี้

นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา รหัสประจำตัว 44064602 ให้ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองเรื่อง สายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ. 2546 (CONSTRUCT AND EFFICIENCY OF TRANMISSION LINES AND ANTENNA LABORATORY SET FOR THE YAGI ANTENNA SUBJECT IN THE DIPLOMA CURRICULUM B.E. 2546)" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ซึ่งได้รับอนุมัติเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2547

ทั้งนี้ให้นักศึกษาค้นคว้าและเขียนวิทยานิพนธ์ โดยปรึกษากับอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ให้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนดในระเบียบของบัณฑิตวิทยาลัย

ประกาศ ณ วันที่ 16 พฤศจิกายน พ.ศ. 2547

(รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด)

รองคณบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ที่ ศธ 0524.04/ 5063

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

22 พฤศจิกายน 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพของเนื้อหาใบงานและแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพื่อการวิจัย

เรียน นายกมนตรี พรหมเพ็ชร

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาใบงานเพื่อการวิจัย
2. แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพื่อการวิจัย

ด้วย นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลอง เรื่อง สายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาใบงานและแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของ นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02-326-4325

ที่ ศธ 0524.04/ 5063

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

22 พฤศจิกายน 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองเพื่อการวิจัย

เรียน นายสมบูรณ์ เนียมกล่ำ

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินคุณภาพชุดทดลองเพื่อการวิจัย

ด้วย นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลอง เรื่อง สายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพชุดทดลองดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02-326-4325

ที่ ศธ 0524.04/ 5063

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

22 พฤศจิกายน 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพของชุดทดลองเพื่อการวิจัย

เรียน นายไชยวัฒน์ วงษ์สมศรี

สิ่งที่ส่งมาด้วย แบบประเมินคุณภาพชุดทดลองเพื่อการวิจัย

ด้วย นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลอง เรื่อง สายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพชุดทดลองดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 326-4325

ที่ ศธ 0524.04/ 5063

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

22 พฤศจิกายน 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพของเนื้อหาใบงานและแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์วิวัฒน์ ปุยะติ

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาใบงานเพื่อการวิจัย
2. แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพื่อการวิจัย

ด้วย นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลอง เรื่อง สายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาใบงาน แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและแบบประเมินคุณภาพชุดทดลอง ดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใดซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัยของ นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 326-4325

ที่ อธ 0524.04/ 5063

คณะกรุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

22 พฤศจิกายน 2548

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพของเนื้อหาใบงานและแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพื่อการวิจัย

เรียน อาจารย์อุดม ภามี

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. แบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาใบงานเพื่อการวิจัย
2. แบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพื่อการวิจัย

ด้วย นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลอง เรื่อง สายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจแบบประเมินคุณภาพด้านเนื้อหาใบงานและแบบประเมินวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังที่แนบมาพร้อมนี้ว่ามีเนื้อหาถูกต้องและเหมาะสมมากน้อยเพียงใด ซึ่งผลการตรวจของท่านจะช่วยให้งานวิจัย ของ นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร. 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02-326-4325

วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์
รับที่ 8 ม.ค. 2549
วันที่ 17 ม.ค. 2549
เวลา 09.00 น.

ที่ ศธ 0524.04/ 0765

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

17 กุมภาพันธ์ 2549

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษานำชุดทดลองช่วยสอนและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถานศึกษาวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1.ประกาศผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ฉบับ
2. แบบประเมินเพื่อการวิจัย

ด้วย นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลอง เรื่อง สายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พ.ศ.2546" โดยมี ผศ.ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ดร.สมชาย หมื่นสายญาติ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม และได้รับอนุมัติหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์แล้ว เมื่อวันที่ 28 ตุลาคม 2547 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม จึงขอความอนุเคราะห์จากท่านโปรดอนุญาตให้ นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา นำชุดทดลองช่วยสอนกับนักเรียนระดับชั้นปวส. ปีที่ 2 แผนกช่างอิเล็กทรอนิกส์ และเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบประเมินเพื่อการวิจัยภายในสถานศึกษาได้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุญาตและขอขอบคุณในความอนุเคราะห์ของท่านมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เลิศลักษณ์ กลิ่นหอม)
รองคณบดี กำกับดูแลงานด้านบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติราชการแทนคณบดี

หน่วยบัณฑิตศึกษา
โทร 02-737-3000 ต่อ 3692
โทรสาร 02- 326-4325

ภาคผนวก ข
แผนการสอนและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

	แผนการสอน	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์	
เรื่อง/งาน การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์เพื่อการรับชม		จำนวนคาบ 4

หัวข้อเรื่อง

ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับชนิดของสายอากาศโทรทัศน์ สายอากาศแบบไดโพล แผงรับสัญญาณแบบ Yagi Dipole สายนำสัญญาณ ตัวปรับอิมพิแดนซ์สายอากาศ การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์

สาระการเรียนรู้

1. ชนิดของสายอากาศโทรทัศน์
2. สายอากาศแบบไดโพล
3. แผงรับสัญญาณแบบ Yagi Dipole
4. สายนำสัญญาณโทรทัศน์
5. ตัวปรับอิมพิแดนซ์สายอากาศ
6. การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

สาระที่ 1 ชนิดของสายอากาศโทรทัศน์

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 2 สายอากาศแบบไดโพล

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 3 แผงรับสัญญาณแบบ Yagi Dipole

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

มาตรฐานที่ 3 ออกแบบ ติดตั้ง วัดและทดสอบคุณสมบัติสายส่งสายอากาศ และ Phasing Line

สาระที่ 4 สายนำสัญญาณโทรทัศน์

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 5 ตัวปรับอิมพิแดนซ์สายอากาศ

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 6 การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์

มาตรฐานที่ 3 ออกแบบ ติดตั้ง วัดและทดสอบคุณสมบัติสายส่งสายอากาศ และ Phasing Line

กิจกรรมการเรียนการสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นักศึกษาฟังคำอธิบายประกอบการสาธิตการทดลองใบงานที่ 1
2. นักศึกษาตั้งใจฟังคำสั่งจากครูเกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองที่สำคัญ การปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยและข้อควรระวัง
3. ครูและนักศึกษาช่วยกันสรุปขั้นตอนในการทดลองใบงานที่ 1

ขั้นปฏิบัติงาน

4. นักศึกษาแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน
5. นักศึกษาแต่ละกลุ่มทำความเข้าใจกับวัตถุประสงค์ของใบงาน และทบทวนความรู้จากใบความรู้หน่วยที่ 1
6. นักศึกษาฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงานที่ 1 ในเอกสารใบงาน
7. ครูตรวจสอบการปฏิบัติงานของนักศึกษา และให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางการปฏิบัติที่ถูกต้อง
8. ครูสังเกตการปฏิบัติงานของนักศึกษาและบันทึกลงในแบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ
9. นักศึกษาฟังการวิจารณ์ ติ ชมของครู พร้อมทั้งช่วยกันแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล และช่วยกันแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อนำไปปฏิบัติให้ถูกต้องในโอกาสต่อไป
10. นักศึกษาทำแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 1 เปลี่ยนกันตรวจ โดยดูเฉลยบนกระดานเสร็จแล้วส่งผลคะแนนให้ครู

ขั้นสรุปและการประยุกต์

11. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปบทเรียน โดยเปิดโอกาสให้ซักถามถ้ามีข้อสงสัยในเรื่องใด

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารใบความรู้หน่วยที่ 1 เรื่องการติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์
2. ใบงานที่ 1 เรื่องการติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์เพื่อการรับชม
3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองตามที่ระบุในใบงานที่ 1

การวัดผลและการประเมินผล

1. วิธีวัดผล

1. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 1
2. ฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงาน

2. เครื่องมือวัดผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 1
2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ

3. เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้ เกณฑ์ผ่าน ต้องตอบคำถามได้ถูกต้องไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่ง
2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ เกณฑ์ผ่าน ปานกลาง (ประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ 50% ขึ้นไป)

	ใบความรู้	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย ระบบสายอากาศโทรทัศน์	
เรื่อง/งาน ระบบสายอากาศโทรทัศน์		จำนวนคาบ 4

1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 นักศึกษาสามารถบอกชนิดของสายอากาศโทรทัศน์ได้อย่างถูกต้อง

1.2 นักศึกษาสามารถบอกชนิดของสายนำสัญญาณที่ใช้ประกอบกับสายอากาศโทรทัศน์ได้อย่างถูกต้อง

1.3 นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์ได้อย่างถูกต้อง

1.4 นักศึกษาสามารถเรียนรู้ได้ด้วยกระบวนการกลุ่มและการสืบค้นข้อมูลร่วมกันได้

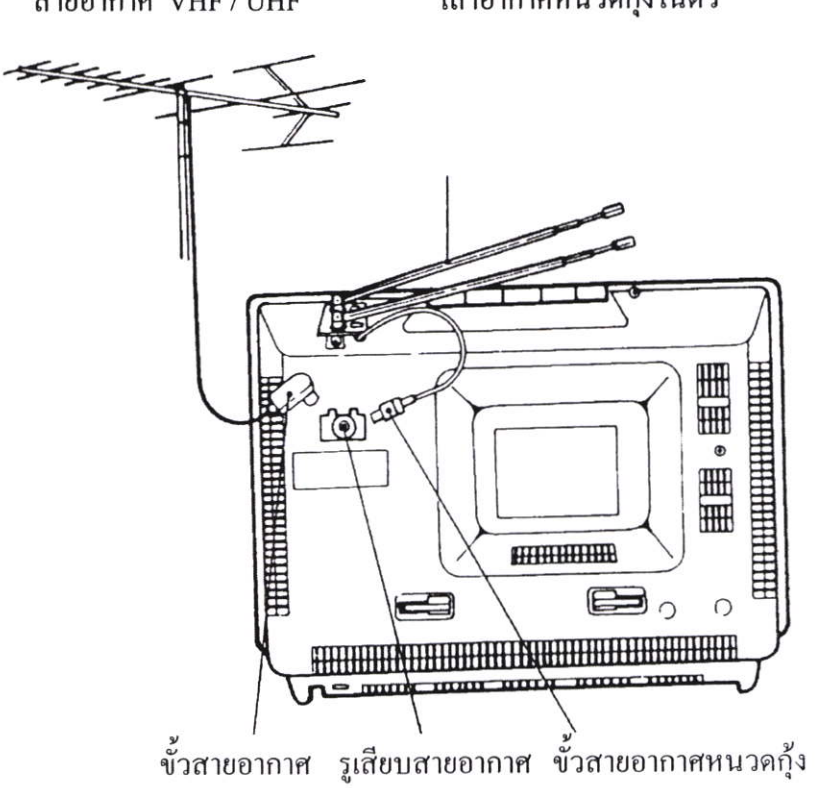
2. เนื้อหา

2.1 ชนิดของสายอากาศโทรทัศน์

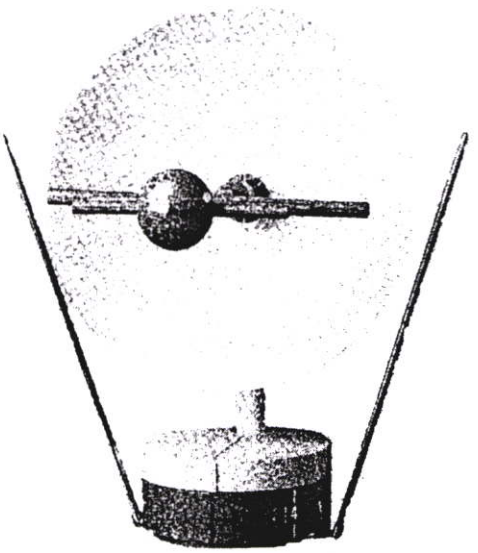
สายอากาศของเครื่องรับโทรทัศน์เป็นตัวรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสัญญาณโทรทัศน์ที่ส่งมาจากสถานีส่ง แล้วเปลี่ยนให้เป็นคลื่นไฟฟ้าความถี่สูงส่งเข้าไปในจูนเนอร์ของเครื่องรับโทรทัศน์ ในปัจจุบันสายอากาศที่ใช้ทั่วไป จะทำจากอะลูมิเนียม เพราะมีน้ำหนักเบาและนำสัญญาณได้ดีซึ่งมี 2 แบบคือ สายอากาศภายในกับสายอากาศที่อยู่ภายนอกบ้าน

สายอากาศภายในนิยมเรียกว่า สายอากาศหนวดกุ้งหรือสายอากาศหูกระต่าย อาจจะทำติดไว้กับตัวเครื่องรับโทรทัศน์หรือแยกต่างหากวางไว้ใกล้ ๆ หรือบนเครื่องรับโทรทัศน์ก็ได้ เสาอากาศแบบหนวดกุ้งอาจจะมี 1 อัน หรือ 2 อัน (ดูรูปที่ ข1.1) เหมาะกับบริเวณที่มีสัญญาณโทรทัศน์แรง ๆ การใช้ก็เพียงแต่ชักเสาขึ้นมาแล้วเอียงหามุมและทิศทางที่ภาพชัด การหดเสาให้สั้นหรือดึงออกให้ยาวรวมกับมุมที่เสาอากาศมีผลต่อการรับช่องต่าง ๆ ไม่เท่ากัน เช่น ถ้าช่องโลว์แบนด์ (2 – 3 – 4) จะต้องดึงเสาออกให้ยาวและมุมกว้าง ส่วนช่องไฮแบนด์ (ช่อง 5 ถึง 12) เสาต้องหดให้สั้นหรือมุมแคบจึงจะรับได้ดี

เสาอากาศภายในอาจรับไม่ดีเท่าที่ควรและสัญญาณไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมด้วย เช่น มีคนเดินผ่านหรือเครื่องบินบินผ่านอาจทำให้สัญญาณเปลี่ยนแปลงไป และกรณีที่บ้านมีโครงสร้างเป็นเหล็กอาจจะปิดกั้นทางเดินของคลื่น ซึ่งจะทำให้การรับสัญญาณโทรทัศน์ไม่ได้ผล เป็นต้น



(ก) เสาอากาศภายนอกและเสาหนวดกุ้งในตัวเครื่องรับโทรทัศน์



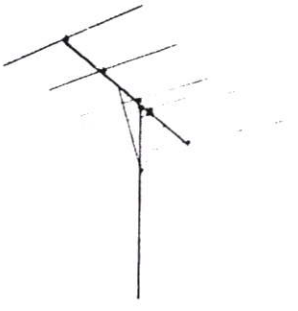
(ข) เสาอากาศแบบหนวดกุ้ง รับคลื่น VHF/UHF (SAMART TVD – A1)

รูปที่ ข1.1 แสดงลักษณะเสาอากาศแบบหนวดกุ้ง

เสาอากาศที่อยู่ภายนอกบ้านจะทำเป็นแผงรับสัญญาณแบบต่างๆ เช่น แบบไดโพล แบบยากิ ไดโพล แบบล็อกพิริออดิก แบบวงกลม เป็นต้น แต่แบบที่มีประสิทธิภาพสูงและนิยมมากที่สุดคือ แบบยากิ ดังรูปที่ ข1.2

12 YE - 212

(ก) แผงรับสัญญาณ VHF ขนาด 12E แบบรวมช่องทั้งไฮแบนด์และโลว์แบนด์ (ช่อง 2 – 12)



5JE – 24N

(ข) แผงรับสัญญาณ VHF ขนาด 5E (โลว์แบนด์ช่อง 2 – 4)

UHF – 17C

(ค) แผงรับสัญญาณ UHF ขนาด 17E

รูปที่ ข1.2 แสดงเสาอากาศโทรทัศน์แบบใช้ภายนอกบ้าน (แบบยากิ)

แผงรับสัญญาณแบบยากิที่ใช้กับเครื่องรับโทรทัศน์แบ่งเป็น 2 ย่านความถี่คือ แผงรับสัญญาณย่าน VHF กับแผงรับสัญญาณย่าน UHF ซึ่งถ้าจะแบ่งย่อยลงไปอีกก็ได้ เช่น

1. แผงรับสัญญาณเฉพาะช่อง ถูกออกแบบให้รับความถี่โทรทัศน์ช่องใดช่องหนึ่งโดยเฉพาะ เช่น แผงรับสัญญาณ VHF ของช่อง 2, ช่อง 3, ช่อง 4, ช่อง 5 จนถึงช่อง 12 แผงแบบนี้จะรับได้สัญญาณแรงที่สุดเพียงช่องเดียวจึงป้องกันการรบกวนจากช่องอื่นได้ แต่ก็มีข้อเสีย คือ ต้องติดตั้งแผงรับสัญญาณเท่ากับจำนวนช่องที่ต้องการรับ ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและการติดตั้งยุ่งยาก เหมาะกับพื้นที่ที่สัญญาณโทรทัศน์ช่องต่าง ๆ มาจากหลายทิศทาง

2. แผงรับสัญญาณ VHF รวมช่อง ใช้รับสัญญาณได้ทั้งไฮแบนด์และโลว์แบนด์ ครอบคลุมความถี่โทรทัศน์ตั้งแต่ช่อง 2 ถึงช่อง 12 ประหยัดค่าใช้จ่ายเพราะติดตั้งแผงรับอันเดียวสามารถรับได้ทุกช่อง เหมาะกับบริเวณที่มีสัญญาณโทรทัศน์ทุกช่องมาในทิศทางเดียวกัน

3. แผงรับสัญญาณ VHF โลว์แบนด์ เป็นแผงรับสัญญาณที่ออกแบบให้สามารถรับความถี่โทรทัศน์ช่อง 2 ถึงช่อง 4 มีความแรงของแผงรับค่อนข้างมากอาจมีส่วนประกอบ 2 ชิ้น 3 ชิ้น หรือ 5 ชิ้น

4. แผงรับสัญญาณ VHF ไฮแบนด์ ใช้สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 5 ถึงช่อง 12 มีจำนวนส่วนประกอบต่าง ๆ กันตั้งแต่ 2 ชิ้นจนถึง 29 ชิ้น

5. แผงรับสัญญาณ UHF ใช้สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ย่าน UHF มีขนาดของส่วนประกอบสั้นมาก ออกแบบให้รับได้หลายช่องในย่านนี้หรือให้รับเฉพาะช่องก็ได้ เช่น รับช่อง 26 ช่อง 29 หรือช่อง 47 เป็นต้น

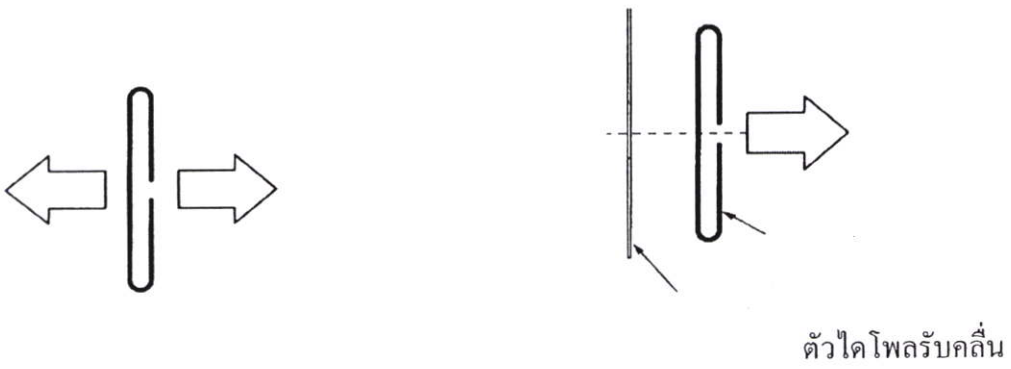
2.2 เสาอากาศแบบไดโพล

เสาอากาศแบบไดโพล (DIPOLE ANTENNA) ที่ใช้กันอยู่จะเป็นชนิดครึ่งความยาวคลื่น พบเห็นได้ 2 ลักษณะคือ ไดโพลปลายเปิดกับไดโพลปลายปิด ไดโพลปลายเปิดจะมีอิมพีแดนซ์ระหว่างขั้วต่อสายนำสัญญาณประมาณ 75 โอห์ม ส่วนไดโพลปลายปิดจะมีอิมพีแดนซ์ระหว่างขั้วต่อสายนำสัญญาณประมาณ 300 โอห์ม ดังรูปที่ ข1.3

(ก) ไดโพลปลายปิดอิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม (ข) ไดโพลปลายเปิดอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม

รูปที่ ข1.3 แสดงเสาอากาศไดโพล

ลักษณะของตัวนำไดโพลจะมีผลต่อคลื่นไฟฟ้าโดยมีลักษณะเป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม LC สัญญาณความถี่ที่จะไหลในไดโพลได้มากที่สุดคือ **ความถี่รีโซแนนซ์** จากการทดลองค่าความยาวของไดโพลที่ได้ผลดีและประหยัดคือ ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ในการรับสัญญาณนั้นไดโพลจะรับสัญญาณในทิศทางตั้งฉากกับไดโพลทั้ง 2 ทางได้แรง นั่นก็คือ คลื่นโทรทัศน์ที่แพร่กระจายมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเดินทางมาตัดกับไดโพลแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในไดโพลประมาณ 5 – 50 μV สัญญาณจะต้องส่งเข้าสายนำสัญญาณไปเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ต่อไป ดังรูปที่ ข1.4



(ก) ไดโพลรับคลื่น 2 ทิศทาง (ข) ไดโพลมีตัวสะท้อนคลื่นรับคลื่นทางเดียว

รูปที่ ข1.4 แสดงทิศทางการรับคลื่นของไดโพล

2.3 แผงรับสัญญาณแบบยากิไดโพล

แผงรับสัญญาณแบบยากิไดโพล (YAGI DIPOLE) เป็นไดโพลครึ่งความยาวคลื่นที่พัฒนาขึ้นมาให้มีอัตราการขยายสูง และมีทิศทางการรับคลื่นรวมทั้งตัดสัญญาณรบกวนด้านหลังได้ ดังนั้นจึงมีชิ้นส่วนหรืออิลิเมนต์ เพิ่มขึ้นอีก 2 ส่วนคือ ส่วนสะท้อนคลื่นหรือรีเฟลกเตอร์ มีความยาวกว่าไดโพลประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ วางห่างจากไดโพลประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวคลื่น จะมีผลให้ไดโพลรับคลื่นได้ด้านเดียว คลื่นที่เดินทางมาจากข้างหน้าจะเข้าไดโพลและบางส่วนจะสะท้อนจากรีเฟลกเตอร์มาเสริม ทำให้รับคลื่นด้านหน้าได้แรงและตัดการรบกวนด้านหลัง อิลิเมนต์อีกส่วนหนึ่งเป็นตัวชี้นำหรือไดเรกเตอร์ สั้นกว่าไดโพลประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ วางไว้ด้านหน้าของไดโพลเป็นระยะ ๆ มีได้หลายอัน จะทำให้มุมการรับคลื่นด้านหน้าของไดโพลยาวออกไป อัตราการขยายของแผงรับสัญญาณจะสูงขึ้น (HIGH GAIN)

แผงรับสัญญาณจะถูกเรียกขนาดแบบท้องตลาดตามจำนวนส่วนประกอบ เช่น แบบ 2E จะมี 2 ชิ้นคือ ไดโพลกับรีเฟลกเตอร์ แบบ 3E จะมี 3 ชิ้นคือ เพิ่มไดเรกเตอร์อีก 1 ชิ้น แผงรับสัญญาณแบบอัตราการขยายสูงที่ใช้ในต่างจังหวัดจะยาวมาก เช่น ขนาด 15E หรือ 29E เป็นต้น

อัตราการขยายของแผงรับสัญญาณที่ความถี่หนึ่งจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่อไปนี้

1. ความยาวของตัวไดโพลหรือไดรเวนอิลิเมนต์
2. ความยาวของตัวสะท้อนคลื่น
3. ความยาวของตัวชี้นำและจำนวนของตัวชี้นำ
4. ระยะห่าง (SPACING) ระหว่างการวางส่วนประกอบ

การหาขนาดของความยาวของแผงรับสัญญาณ

1. ความยาวของไดโพล = ความยาวคลื่น

$$= \frac{\lambda}{2}$$

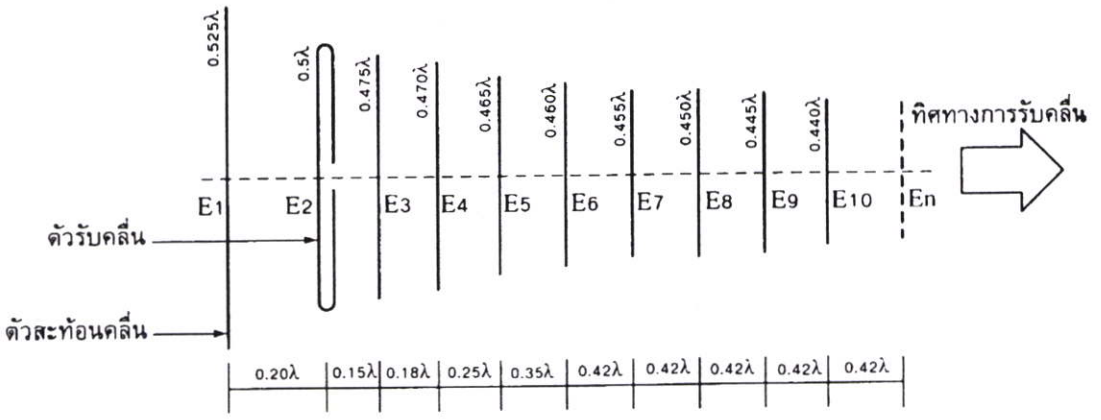
เมื่อ λ (เมตร) $= \frac{300}{f}$

โดยที่ f คือความถี่ของช่องที่รับ มีหน่วยเป็น MHz

2. ความยาวของตัวสะท้อนคลื่นให้ยาวกว่าไดโพล 5 เปอร์เซ็นต์
3. ความยาวของตัวชี้นำให้สั้นกว่าไดโพล 5 เปอร์เซ็นต์ อันต่อไปสั้นลงอันละ 1 เปอร์เซ็นต์
4. ระยะห่างระหว่างส่วนประกอบ

E1 – E2	=	0.2 λ
E2 – E3	=	0.15 λ
E3 – E4	=	0.18 λ
E4 – E5	=	0.25 λ
E5 – E6	=	0.35 - 0.42 λ
E ต่อ ๆ ไป	=	0.42 λ

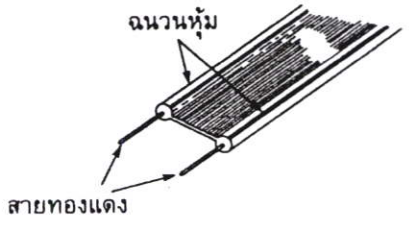
ถ้าสังเกตความยาวและระยะของแผงรับสัญญาณโทรทัศน์ ที่ผลิตจากหลายบริษัท จะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกันแต่ไม่เท่ากันเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากการทดลองและความถี่ที่ใช้คำนวณ บางบริษัทจะคิดค่าความต้านทานของโลหะที่ทำให้คลื่นเดินทางช้าเข้าไปด้วย ปกติความถี่ที่ใช้คำนวณของแต่ละช่อง จะใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างพาหะภาพกับพาหะเสียงเป็นแผงรับเฉพาะช่องหรือบางแบบ จะใช้ค่าเฉลี่ยของแบนด์มาคำนวณเป็นเสาแบบรวมช่อง เช่น ใช้ได้ตั้งแต่ช่อง 5 ถึงช่อง 12 เป็นต้น พื้นที่ที่ยากต่อการรับสัญญาณโทรทัศน์จะมีปัญหาสัญญาณภาพอ่อน ส่วนสัญญาณเสียงมักจะไม่มีปัญหา จึงแก้ปัญหาด้วยการนำเอาความถี่พาหะภาพของช่องที่มีปัญหามาคำนวณออกแบบเฉพาะช่อง โดยใช้ตัวชี้นำมีความยาวเป็น 0.95 ของไดโพลเท่ากันทุกอัน มีโครงสร้างรวมประมาณ 8 อิลิเมนต์ ก็จะทำให้รับสัญญาณภาพทางไกลได้ดีกว่าแผงรวมช่องที่ซื้อมาจากท้องตลาดโดยเฉพาะช่อง 12 และช่อง 13



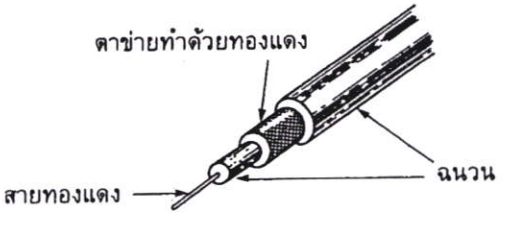
รูปที่ ข1.5 แสดงแผงรับสัญญาณโทรทัศน์แบบอัตราขยายสูง

2.4 สายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณ (FEEDER LINE) ใช้สำหรับนำสัญญาณจากไดโพลเพื่อป้อนเข้าภาคขยายอาร์เอฟในจูนเนอร์ของเครื่องรับโทรทัศน์ สายนำสัญญาณที่ใช้กันอยู่จะมี 2 แบบคือ สายแบบทวินลีด หรือริบบอนอิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม กับสายกลมโคแอกเชียลอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม ดังแสดงในรูปที่ ข1.6



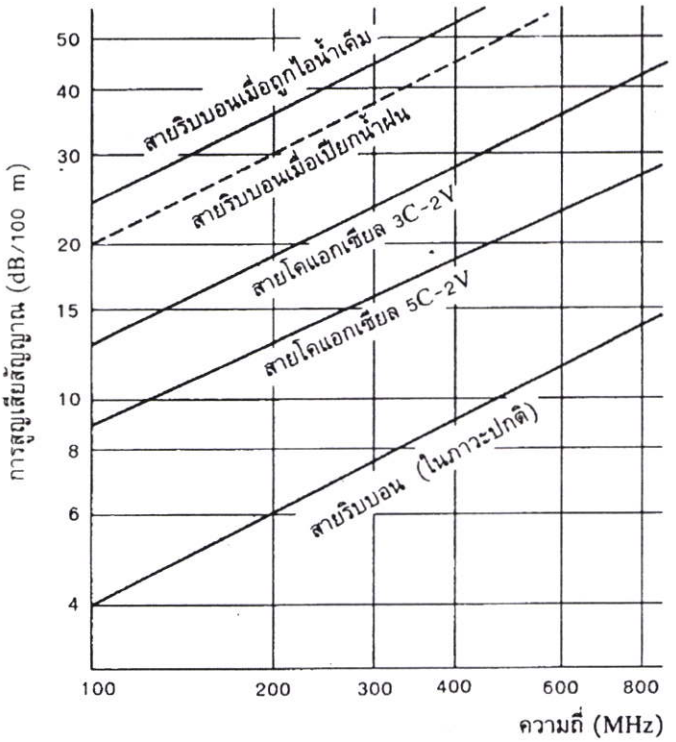
(ก) สายแบนริบบอน 300 โอห์ม



(ข) สายกลมโคแอกเชียล 75 โอห์ม

รูปที่ ข1.6 แสดงสายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณชนิดริบบอน มีโครงสร้างเป็นตัวนำขนานหุ้มด้วยฉนวนมีน้ำหนักเบาราคาถูก ในภาวะปกติจะใช้ได้ดีมีการสูญเสียของสัญญาณต่ำ แต่มีข้อเสีย คือ พวกสัญญาณรบกวนต่าง ๆ เข้าไปกวนได้ง่ายและในขณะฝนตกหรืออากาศเปียกชื้นจะเปลี่ยนคุณสมบัติอย่างมาก ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณสูง สายแบบริบบอนจึงเหมาะที่จะติดตั้งในบริเวณสถานที่ที่ไม่ค่อยมีความชื้นเกาะสายสัญญาณ จะทำให้สูญเสียภายในสายมากที่สุด



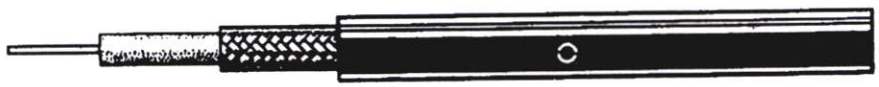
รูปที่ ข1.7 แสดงกราฟแสดงการสูญเสียสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ของสายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณชนิดกลมโคแอกเชียล มีลักษณะโครงสร้างเป็นสายซีลด์มีทองแดงตัวนำสัญญาณอยู่ภายในคั่นด้วยฉนวน มีสายทองแดงถักเป็นตาข่ายหุ้มเป็นซีลด์เพื่อปกป้องสัญญาณรบกวนต่างๆ แล้วหุ้มด้วยฉนวนภายนอกอีกชั้นหนึ่ง ในภาวะปกติจะมีการสูญเสียในสายมากกว่าสายริบบอน สายแบบนี้ราคาแพงกว่าแบบริบบอนและขึ้นอยู่กับขนาด เพราะท้องตลาดผลิตออกมาหลายขนาด แบบเส้นโตจะมีราคาแพงและนำสัญญาณได้ดีกว่า รวมทั้งเกิดการสูญเสียน้อย

สายโคแอกเชียลมีข้อดี คือ ป้องกันการรบกวนจากภายนอกได้ดี น้ำฝน ความชื้นและไอน้ำเค็มไม่มีผลต่อการนำสัญญาณของสายโคแอกเชียล ดังนั้นบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนมาก บริเวณที่มีฝนตกชุก และบริเวณใกล้ทะเล ควรนำสายโคแอกเชียลมาใช้ อย่างไรก็ตามข้อมูลเฉพาะของสายโคแอกเชียลแต่ละชนิดเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา เพราะสายแต่ละขนาดมีผลทางการลดทอนที่ความถี่ต่างๆ ไม่เท่ากัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ ข1.8

สายเคเบิลโคแอกเซียลสำหรับใช้งานย่านความถี่สูง

แบบของสาย	เส้นผ่านศูนย์กลางของสาย (mm)				อิมพีแดนซ์ (Ω)	ความต้านทานต่อ 1 km ที่ 20 °C	การลดทอน (dB/km)			น้ำหนักประมาณ (kg/km)	สี
	ตัวนำแกนใน	ฉนวน	ตัวนำด้านนอก	ความโตรวมเปลือกนอก			100 MHz	200 MHz	770 MHz		
5D-FB	1/1.8	5.0	5.7	7.5	50	7.05	65	96	190	72	ดำ
8D-FD	1/2.8	7.8	8.8	11.1	50	2.80	43	70	106	166	ดำ
10D-FB	1/3.5	10.0	11.0	13.0	50	1.79	33	49	100	237	ดำ



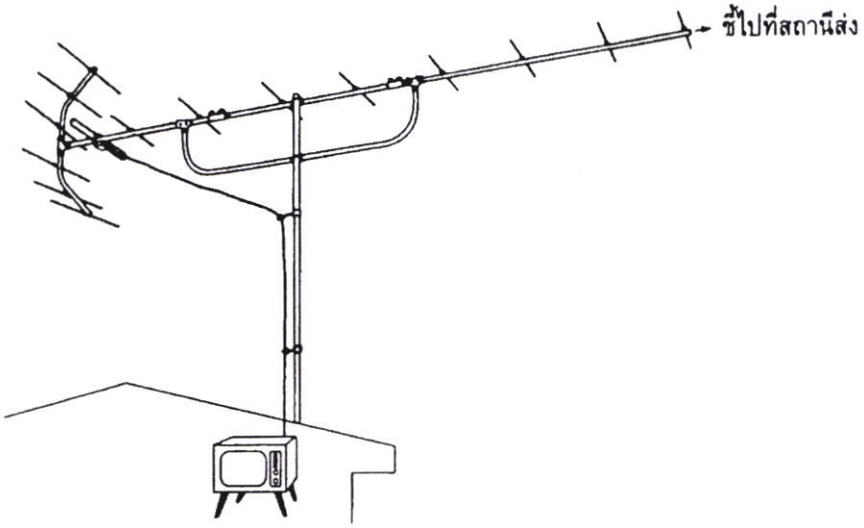
แบบของสาย	เส้นผ่าศูนย์กลางของสาย (mm)				อิมพีแดนซ์ (Ω)	ความต้านทานต่อ 1 km ที่ 20 °C	การลดทอน (dB/km)			น้ำหนักประมาณ (kg/km)	สี
	ตัวนำแกนใน	ฉนวน	ตัวนำด้านนอก	ความโตรวมเปลือกนอก			100 MHz	200 MHz	770 MHz		
3C-FV	1/0.65	3.1	3.7	5.4	75	54.0	99	160	320	35	ดำ
5C-FV	1/1.05	5.0	5.7	7.5	75	21.1	70	112	220	79	ดำ
7C-FV	1/1.50	7.3	8.2	10.4	75	10.2	49	79	160	140	ดำ

รูปที่ ข1.8 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของสายโคแอกเซียลแบบต่างๆ (NIPPON ANTENNA)

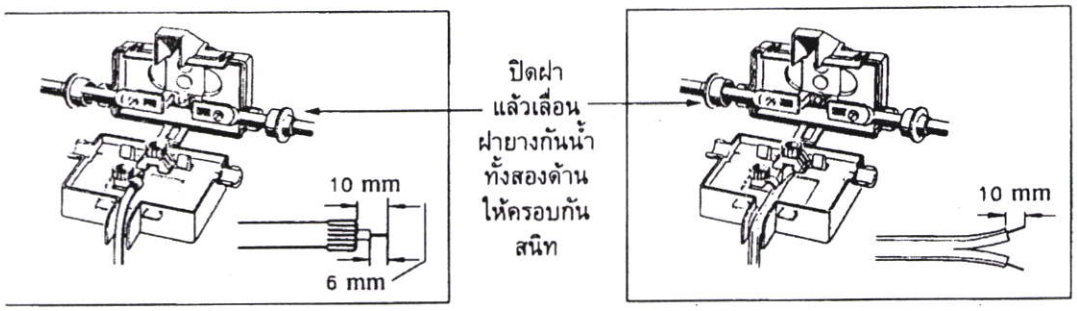
2.5 ตัวปรับอิมพีแดนซ์สายอากาศ

การเชื่อมโยงสัญญาณจากแผงรับสัญญาณโทรทัศน์ไปตามสายนำสัญญาณเพื่อเข้าถึงจูนเนอร์นั้น อุปกรณ์ทุกชิ้นควรจะต้องมีอิมพีแดนซ์เท่ากัน จึงจะทำให้การส่งสัญญาณมีประสิทธิภาพสูงสุด กรณีที่ตัวสายอากาศไดโพล สายนำสัญญาณและจูนเนอร์เครื่องรับโทรทัศน์มีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน จะต้องใช้ตัวปรับอิมพีแดนซ์หรือที่นิยมเรียกว่า ตัวแมทช์ชิ่ง เป็นตัวช่วย การที่อุปกรณ์มีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากันก็อาจจะเรียกว่ามันไม่แมทช์กัน ดังนั้นตัวแมทช์ชิ่งจึงมีหน้าที่ทำให้อิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากันได้พอดีเพื่อการส่งกำลังงานได้สูงสุด

เครื่องรับโทรทัศน์จะมีที่ต่อสายสัญญาณเข้า 75 โอห์ม หรือ 300 โอห์ม บางเครื่องจะสามารถเลือกต่อเข้าได้ถึง 75 โอห์มและ 300 โอห์ม ดังรูปที่ ข1.9 ซึ่งแสดงแผงรับสัญญาณและการต่อสายนำสัญญาณ



(ก) แผงรับสัญญาณช่อง 7 รุ่น Channelking ขนาด 15E



(ข) การต่อสายนำสัญญาณ 75 โอห์ม เข้าขั้วสายอากาศ

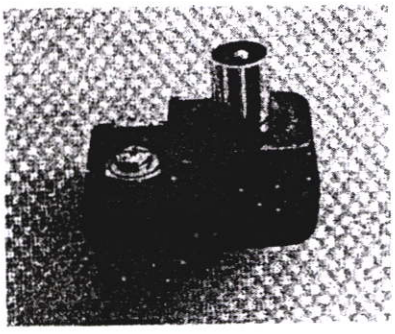
(ค) การต่อสายนำสัญญาณ 300 โอห์ม เข้าขั้วสายอากาศ

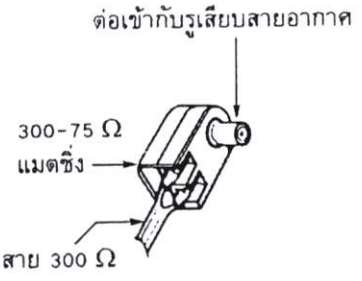
รูปที่ ข1.9 แสดงแผงรับสัญญาณช่อง 7 และการต่อสายนำสัญญาณ (สามารถวิศวกรรม)

กรณีใช้สายนำสัญญาณแบบริบบอนที่มีอิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม ด้านบนที่ต่อกับแผงรับสัญญาณโทรทัศน์สามารถต่อเข้ากับไดโพลได้โดยตรง เพราะอิมพีแดนซ์ 300 โอห์มเท่ากันพอดี ส่วนปลายทางสายด้านล่างนั้น ถ้าเครื่องรับโทรทัศน์มีขั้วต่อสัญญาณเข้าเป็น 300 โอห์มก็สามารถต่อเข้าโดยตรง แต่ถ้าเครื่องรับโทรทัศน์มีขั้วต่อสัญญาณเข้าเป็น 75 โอห์ม ต้องใช้หม้อแปลงแมทช์ซึ่งจาก 300 โอห์มเป็น 75 โอห์ม ต่อจากสายนำสัญญาณ 300 โอห์มแปลงเป็น 75 โอห์ม ก่อนเข้าเครื่องรับโทรทัศน์

กรณีใช้สายนำสัญญาณโคแอกเชียลที่มีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม การต่อเข้าไดโพลของแผงรับสัญญาณต้องต่อผ่านแมทช์ซึ่ง 300 – 75 โอห์ม ซึ่งทำเป็นพิเศษมีฝาครอบกันน้ำอยู่ใต้จุดต่อของขั้วไดโพล ปลายสายด้านล่างที่ต่อเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ที่มีจุดต่อ 75 โอห์มก็สามารถต่อผ่าน

แจ็กได้โดยตรงดังรูปที่ ข1.10





(ก) รูปร่างแมทช์ชิ่งอยู่ร่วมกับปลั๊กสายอากาศ (ข) การต่อสายนำสัญญาณเข้าแมทช์ชิ่ง

รูปที่ ข1.10 แสดงแมตชิ่ง 300 – 75 โอห์ม และการต่อสายนำสัญญาณ

2.6 ความถี่ย่าน VHF และ UHF สำหรับวิทยุและโทรทัศน์ในปัจจุบัน

	Channel	ความถี่ MHz	Picture-Carrier	Sound Carrier
Low Band	2	47-54	48.25	53.75
	3	54-61	55.25	60.75
	4	61-68	62.25	67.75
High Band	5	174-181	175.25	180.75
	6	181-188	182.25	187.75
	7	188-195	189.25	194.75
	8	195-202	196.25	201.75
	9	202-209	203.25	208.75
	10	209-216	210.25	215.75
	11	216-223	217.25	225.75
	12	223-230	224.25	229.75

รูปที่ ข1.11 แสดงความถี่ย่าน VHF (Very High Frequency)

ระบบ CCIR 625 เส้น			
Channel	**ความถี่ MHz**	**Picture Carrier (MHz)**	**Sound Carrier**
21	470-477	471.25	476.75
22	478-485	479.25	484.75
23	486-493	487.25	492.75
24	494-501	495.25	500.75
25	502-509	503.25	508.75
26	510-517	511.25	516.75
27	518-525	519.25	524.75
28	526-533	527.25	532.75
29	534-541	535.25	540.75
30	542-549	543.25	548.75
31	550-557	551.25	556.75
32	558-565	559.25	564.75
33	566-573	567.25	572.75
34	574-581	575.25	580.75
35	582-589	583.25	588.75
36	590-597	591.25	596.75
37	598-605	599.25	604.75

รูปที่ ข1.12 แสดงความถี่ย่าน UHF (Ultra High Frequency)

	ใบงาน	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย ระบบสายอากาศโทรทัศน์	
เรื่อง/งาน ระบบสายอากาศโทรทัศน์		จำนวนคาบ 4

1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 นักศึกษาสามารถติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์ได้ถูกต้องภายในเวลา 30 นาที

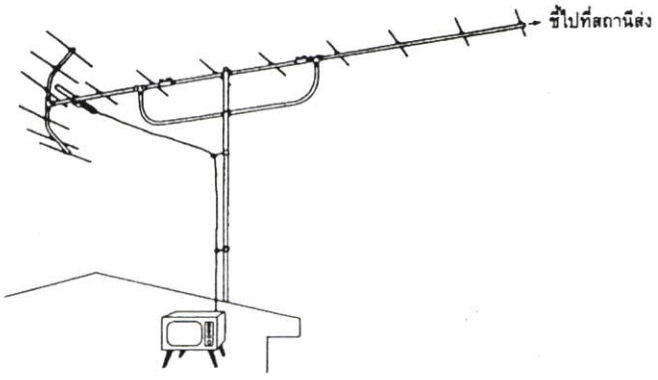
1.2 นักศึกษาสามารถบอกส่วนประกอบของสายอากาศโทรทัศน์ตามใบงานได้อย่างถูกต้อง

1.3 นักศึกษาสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และแก้ปัญหาร่วมกันได้

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1 สายอากาศแบบYAGI (ย่าน UHF)	1	แผง
2.2 สายนำสัญญาณ (RG 6)	1	ชุด
2.3 เครื่องรับโทรทัศน์	1	เครื่อง
2.4 เครื่องวัดความแรงของสัญญาณ (Field Strength Meter)	1	เครื่อง
2.5 ฐานตั้งเสาของสายอากาศ	1	ชุด
2.6 เข็มทิศ	1	อัน

3. ลำดับขั้นการปฏิบัติงาน



แสดงการต่ออุปกรณ์สายอากาศโทรทัศน์

3.1 สังเกตการสาธิตการติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์จากผู้สอน พร้อมทั้งจดบันทึกขั้นตอนในการติดตั้ง (5)

.....

.....

.....

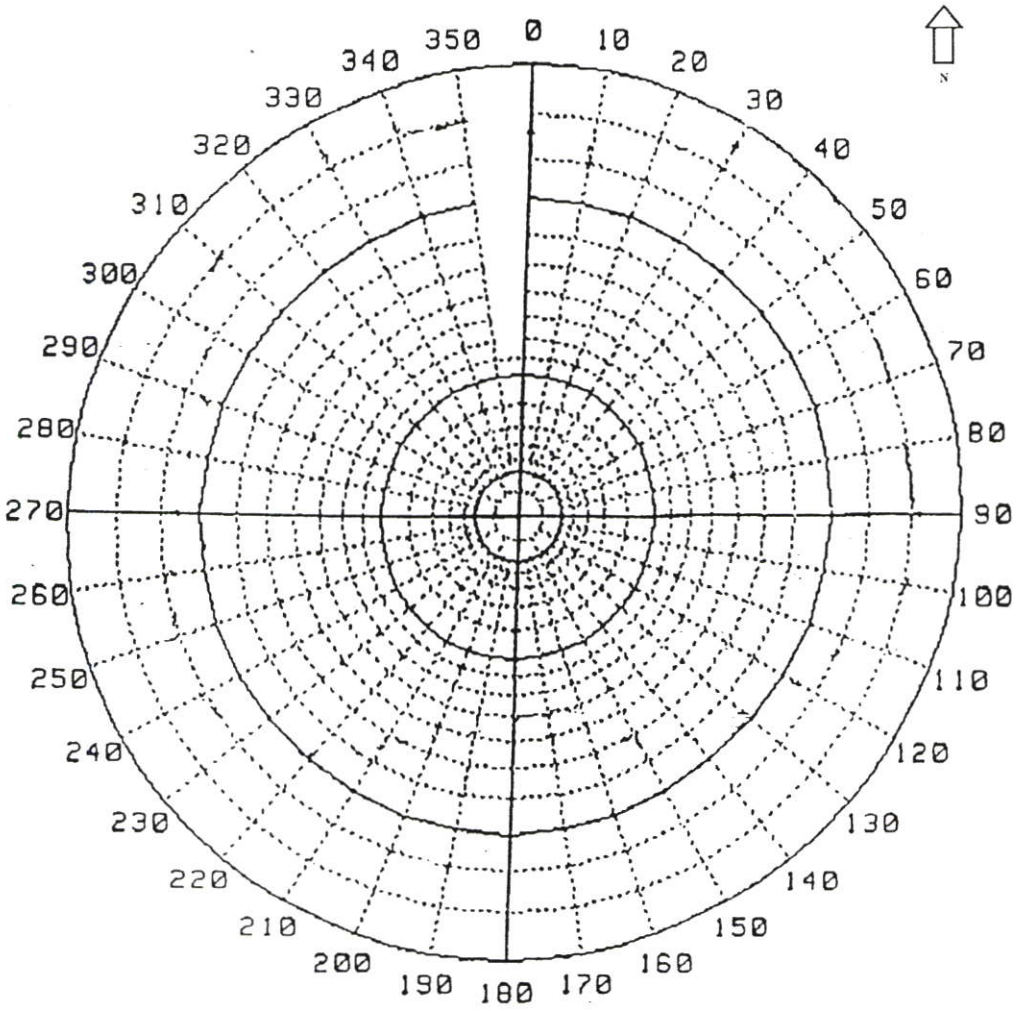
.....

.....

3.2 ต่ออุปกรณ์ตามแบบที่ได้บันทึกขั้นตอนการติดตั้ง

3.3 ปรับตำแหน่งสายอากาศให้ตรงกับสถานีส่ง ดูได้จากเครื่องรับโทรทัศน์ที่อยู่ในตำแหน่งที่ได้ภาพชัดมากที่สุด

3.4 นำตำแหน่งที่ได้ plot ลงกราฟ (5)



3.5 ณ ตำแหน่งที่ได้ภาพชัดที่สุดใช้ FSM. (Field Strength Meter) วัดค่าความแรงของสัญญาณได้ .....μV/m หรือ ..... dB

4. ปัญหา

4.1 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบ YAGI ประกอบด้วยอะไรบ้าง และแต่ละส่วนทำหน้าที่อย่างไร (5)

ตอบ

.....
.....
.....
.....
.....
.....

4.2 ช่องสัญญาณเครื่องรับโทรทัศน์มีผลเกี่ยวข้องกับสายอากาศอย่างไร (5)

ตอบ

.....
.....
.....
.....
.....

4.3 สายนำสัญญาณที่ใช้ในการติดตั้งเป็นสายชนิดใด เพราะเหตุใดจึงต้องใช้สายชนิดนี้ (5)

ตอบ

.....
.....
.....
.....
.....
.....

5. สรุปผลการทดลอง (5)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

	แบบประเมิน	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย ระบบสายอากาศโทรทัศน์	
เรื่อง/งาน ระบบสายอากาศโทรทัศน์		จำนวนคาบ 4

1. ข้อใดคือหน้าที่ของสายอากาศโทรทัศน์

   ก. รับภาพจากเครื่องส่งมาขยายให้แรงขึ้น

   ข. เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณภาพและเสียง

   ค. เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณภาพและเสียง

   ง. เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูง

2. สายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ภายใน (หนวดกุ้ง) จัดว่าเป็นสายอากาศประเภทใด

   ก. แบบ Yagi

   ข. แบบ Full Wave Dipole

   ค. แบบ Half Wave Dipole

   ง. แบบ Dipoleที่ปรับความถี่รับได้

3. สายอากาศรับโทรทัศน์ภายนอกชนิดใดมีอัตราขยายสูงสุด

   ก. แบบ Yagi

   ข. แบบ Dipole

   ค. แบบ Loop

   ง. แบบ Log Periodic

4. สายอากาศ Dipole แบบปลายปิดและแบบปลายเปิด มีข้อแตกต่างกันอย่างไร

ก. ตอบสนองความถี่รีโซแนนซ์ไม่เท่ากัน

ข. มีค่าความต้านทานไม่เท่ากันปลายเปิดมีมากกว่าปลายปิด

ค. แบบปลายปิดมีอิมพีแดนซ์ 300 Ω แบบปลายเปิดมีอิมพีแดนซ์ 75 Ω

ง. รับสัญญาณได้ไม่เท่ากัน ปลายเปิดรับได้สูงกว่า

รูปที่ 1

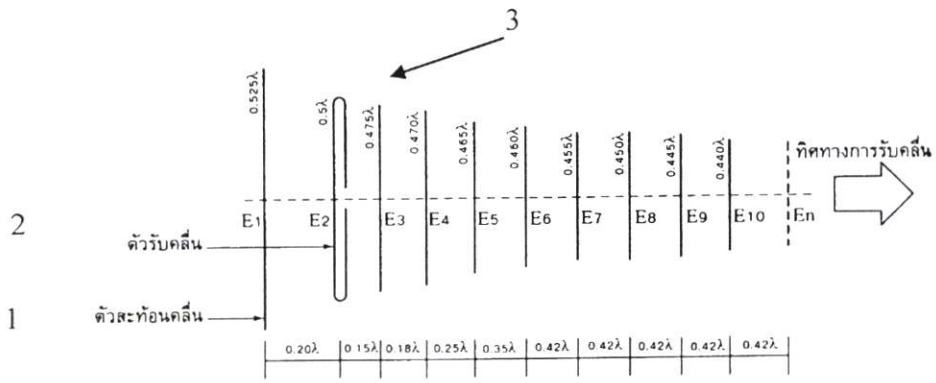
5. จากรูปที่ 1 สายอากาศ 2 แบบมีข้อแตกต่างกัน ข้อใดกล่าวไม่ถูกต้อง

ก. แบบที่ 1 รับสัญญาณรอบตัวได้ดีกว่าแบบที่ 2

ข. แบบที่ 1 มีอัตราขยายดีกว่าแบบที่ 2

ค. แบบที่ 2 ป้องกันภาพซ้อนได้ดีกว่าแบบที่ 1

ง. แบบที่ 2 รับสัญญาณได้ไกลกว่าแบบที่ 1



รูปที่ 2

6. จากรูปที่ 2 ส่วนประกอบหมายเลข 3 เรียกว่าอะไร

ก. Reflector Element

ข. Director Element

ค. Driven Element

ง. Boom Element

7. จากรูปที่ 2 ข้อใดกล่าวถึงส่วนประกอบหมายเลข 3 ได้ถูกต้อง

ก. มีความยาวน้อยกว่าส่วนที่ 2 อยู่ 5%

ข. รับสัญญาณจากส่วนหน้าส่งให้หมายเลข 1

ค. จำนวนยิ่งมาก มุมในการรับสัญญาณยิ่งมากขึ้น

ง. ทำหน้าที่สะท้อนคลื่นส่วนหน้าให้ถึงหมายเลข 2 ได้น้อยลง

8. ข้อใดกล่าวถึงสายนำสัญญาณโทรทัศน์ได้ถูกต้อง

ก. แบบทวีนลีดป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดี

ข. แบบโคแอกเชียลสามารถมีอิมพีแดนซ์ 75 Ω

ค. แบบโคแอกเชียลอิมพีแดนซ์เปลี่ยนเมื่อมีความชื้น

ง. แบบทวีนลีดมีอิมพีแดนซ์ต่ำกว่าแบบโคแอกเชียล

9. ถ้าสายอากาศเป็นชนิดไดโพลปลายเปิด ข้อใดเป็นวิธีการต่อที่ถูกต้องที่สุด

ก. สามารถนำสายชนิดทวีนลีดต่อโดยตรงได้เลย

ข. สามารถนำสายชนิดริบบอนต่อโดยตรงได้เลย

ค. สามารถนำสายชนิดโคแอกเชียลต่อโดยตรงได้เลย

ง. สายทั้ง 3ชนิด ถ้าจะต่อต้องมีการต่อแมทช์ชิ่งก่อนเพื่อให้มีอิมพีแดนซ์เท่ากัน

10. ข้อใดคือข้อเสียของสายนำสัญญาณชนิดโคแอกเชียล

ก. ป้องกันสัญญาณรบกวนได้น้อย

ข. มีอิมพีแดนซ์ต่ำกว่าสายแบบทวีนลีด

ค. มีผลกระทบในเรื่องของความชื้นได้มากกว่าแบบทวีนลีด

ง. ในภาวะปกติมีการสูญเสียในสายมากกว่าแบบทวีนลีด

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
ใบงานที่ 1 ระบบสายอากาศโทรทัศน์

ผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	**ระดับคะแนน**				
	ควรปรับปรุง (1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์ (15 คะแนน)					
1.1 การเตรียมเครื่องมือติดตั้ง (5)	1	2	3	4	5
1.2 ขั้นตอนการติดตั้ง (5)	1	2	3	4	5
1.3 เวลาที่ใช้ในการติดตั้ง (5)	1	2	3	4	5
(2) การทดสอบสายอากาศโทรทัศน์ (15 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.3 ประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับแต่ง (5)	1	2	3	4	5
(3) การบันทึกผลการทดลอง (10)	2	4	6	8	10
(4) การตอบคำถามท้ายการทดลอง(20)	4	8	12	16	20
(5) แบบประเมินหน่วยที่ 1 (10)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ภาคทฤษฎี 30% คือ ..... ภาคปฏิบัติ 70% คือ.....				

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

	แผนการสอน	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วย คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน	
เรื่อง/งาน คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน		จำนวนคาบ 4

หัวข้อเรื่อง

ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติพื้นฐานในการแพร่กระจายพลังงาน อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบค บีมวีดท์ อัตราขยายของสายอากาศ การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ Yagi

สาระการเรียนรู้

1. คุณสมบัติพื้นฐานในการแพร่กระจายพลังงาน
2. อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบค
3. บีมวีดท์
4. อัตราขยายของสายอากาศ
5. การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ Yagi

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

สาระที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานในการแพร่กระจายพลังงาน

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 2 อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบค

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

มาตรฐานที่ 3 ติดตั้งและทดสอบคุณสมบัติสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 3 บีมวีดท์

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 4 อัตราขยายของสายอากาศ

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 5 การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ Yagi

มาตรฐานที่ 3 ติดตั้งและทดสอบระบบสายส่งและสายอากาศ

กิจกรรมการเรียนการสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นักศึกษาฟังคำอธิบายประกอบการสาธิตการทดลองใบงานที่ 2
2. นักศึกษาตั้งใจฟังคำสั่งจากครูเกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองที่สำคัญ การปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยและข้อควรระวัง
3. ครูและนักศึกษาช่วยกันสรุปขั้นตอนในการทดลองใบงานที่ 2

ขั้นปฏิบัติงาน

4. นักศึกษาแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน
5. นักศึกษาแต่ละกลุ่มทำความเข้าใจกับวัตถุประสงค์ของใบงาน และทบทวนความรู้จากใบความรู้หน่วยที่ 2
6. นักศึกษาฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงานที่ 2 ในเอกสารใบงาน
7. ครูตรวจสอบการปฏิบัติงานของนักศึกษา และให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางการปฏิบัติที่ถูกต้อง
8. ครูสังเกตการปฏิบัติงานของนักศึกษาและบันทึกลงในแบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ
9. นักศึกษาฟังการวิจารณ์ ติ ชมของครู พร้อมทั้งช่วยกันแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผลและช่วยกันแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อนำไปปฏิบัติให้ถูกต้องในโอกาสต่อไป
10. นักศึกษาทำแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 2 เปลี่ยนกันตรวจ โดยดูเฉลยบนกระดานเสร็จแล้วส่งผลคะแนนให้ครู

ขั้นสรุปและการประยุกต์

11. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปบทเรียน โดยเปิดโอกาสให้ซักถามถ้ามีข้อสงสัยในเรื่องใด

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารใบความรู้หน่วยที่ 2 เรื่องคุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน
2. ใบงานที่ 2 เรื่องคุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน

3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองตามที่ระบุในใบงานที่ 2

การวัดผลและการประเมินผล

1. วิธีวัดผล

1. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 2
2. ฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงาน

2. เครื่องมือวัดผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 2
2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ

3. เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้ เกณฑ์ผ่าน ต้องตอบคำถามได้ถูกต้องไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่ง
2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ เกณฑ์ผ่าน ปานกลาง (ประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ 50% ขึ้นไป)

	ใบความรู้	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วย คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน	
เรื่อง/งาน คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน		จำนวนคาบ 4

1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 นักศึกษาสามารถบอกคุณสมบัติในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศชนิดต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง

1.2 นักศึกษาสามารถคำนวณหาค่าอัตราขยายของสายอากาศได้อย่างถูกต้อง

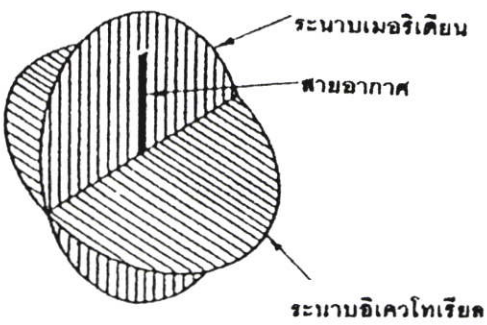
1.3 นักศึกษาสามารถอธิบายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ ได้อย่างถูกต้อง

2. เนื้อหา

2.1 คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน (RADIATION PATTERN)

สายอากาศทุกแบบจะมีคุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงานไปได้มากในบางทิศทาง (เมื่อเทียบกับทิศทางรอบสายอากาศ) คุณสมบัติเช่นนี้เรียกว่า ไดเร็คติวิตี้ จัดว่าสำคัญมากสำหรับการส่งสัญญาณไปยังทิศทางที่ต้องการให้มีขนาดมากกว่าทิศทางที่ไม่ต้องการ ไดเร็คติวิตี้ของสายอากาศแสดงโดยใช้รูปแบบการแพร่คลื่น (RADIATION PATTERN)

รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศ เป็นรูปกราฟที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศตามระยะทางที่ห่างออกไปรอบตัว และเนื่องจากมีการแพร่คลื่นไปทุกทิศทางรอบตัวจึงต้องกำหนดระนาบในการพิจารณารูปแบบคลื่น โดยตกลงกันให้มีใช้อยู่ 2 ระนาบ ดังแสดงในรูป ข2.1



รูปที่ ข2.1 แสดงระนาบเมอริเดียนและอิเควโทเรียลของสายอากาศ

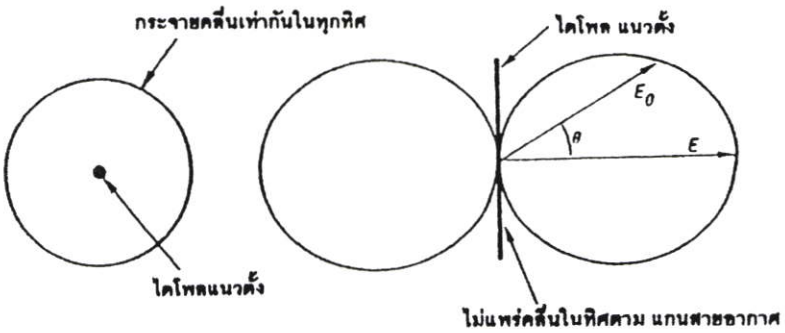
จากรูประนาบเมอริเดียน คือ ระนาบตามแนวแกน ของสายอากาศระนาบอิเควโทเรียล คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวสายอากาศ ยกตัวอย่าง เช่น สายอากาศชนิดแนวตั้ง (VERTICAL) อธิบายได้ว่า ระนาบเมอริเดียนมีทิศตั้งฉากกับพื้นโลก และระนาบอิเควโทเรียลมีทิศแนวนอน รูปแบบการแพร่คลื่นสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพของสายอากาศได้ดี โดยต้องเป็นในสภาพที่ติดตั้งห่างจากวัสดุต่าง ๆ เช่น ตึก, อาคาร หรือพื้นดินที่อาจทำให้เกิดคลื่นสะท้อนขึ้นและมีผลต่อรูปแบบได้

แต่ในการใช้งานจริง สายอากาศถูกติดตั้งไว้ใกล้กับวัสดุต่าง ๆ ทำให้รูปแบบการแพร่คลื่นไม่อาจระบุถึงประสิทธิภาพแท้จริงของสายอากาศได้เต็มร้อยเปอร์เซ็นต์ ถึงกระนั้นรูปแบบการแพร่คลื่นใช้ประโยชน์ในแง่การเปรียบเทียบความแตกต่างกันของสายอากาศแต่ละชนิด

สายอากาศอาจถูกใช้ในการรับคลื่นได้ และเราสามารถใช้รูปแบบการแพร่คลื่นระบุถึงความสามารถในการรับของสายอากาศได้ โดยเฉพาะคุณสมบัติไดเร็คติวิตี้ที่ทำให้รู้ว่าควรหันเสาหรือติดตั้งในทิศทางใดจึงได้สัญญาณที่ต้องการ

สายอากาศไดโพลชนิดแนวตั้งจะแพร่/หรือรับคลื่นได้เท่ากัน ในทุกทิศทางตามระนาบแนวนอนทำให้มีรูปแบบการแพร่คลื่นเป็นวงกลม ดังแสดงในรูป ข2.2 (ก)

ส่วนระนาบแนวตั้งของสายอากาศชนิดนี้จะไม่แพร่/หรือรับคลื่น ตลอดตามแนวสายอากาศ ทำให้รูปแบบการแพร่คลื่นเป็นลักษณะเลขแปด ดังแสดงในรูป ข 2.2 (ข)



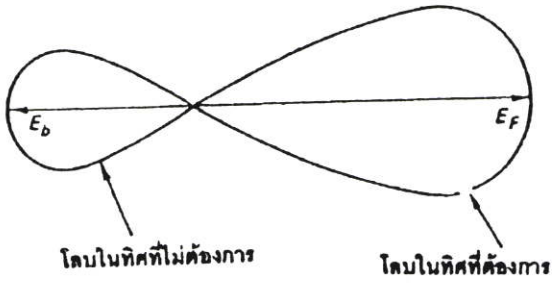
(ก) รูปแบบระนาบแนวนอน (ข) รูปแบบระนาบแนวตั้ง

รูปที่ ข2.2 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลแบบแนวตั้ง (ขนาด $\lambda/2$)

2.2 อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบค (FRONT TO BACK RATIO)

รูปแบบการแพร่คลื่นส่วนใหญ่แล้วจะมีไดเร็คติวิตี้ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศอื่น ดังนั้นอัตราส่วนฟรอนด์ทูแบคของสายอากาศ คือ อัตราส่วนของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิด

จากสายอากาศโดยคิดจากทิศที่ต้องการกับทิศที่ไม่ต้องการ (ตรงกันข้าม) แสดงดังรูป ข2.3



รูปที่ ข2.3 แสดงอัตราส่วนฟรอนด์ทูแบคของสายอากาศ

ตัวอย่างการคำนวณ

ค่าความเข้มสนามที่ระยะ X กิโลเมตร ตามทิศที่ต้องการจากสายอากาศเท่ากับ 10 mV/m ในระยะทางที่เท่ากัน แต่ทิศตรงข้ามมีค่าเท่ากับ 1mV/m จงคำนวณหาอัตราส่วนฟรอนด์ทูแบคของสายอากาศนี้

อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบค $= E_f / E_b = \dfrac{10\times10^{-3}}{1\times10^{-3}} = 10$ **Ans.**

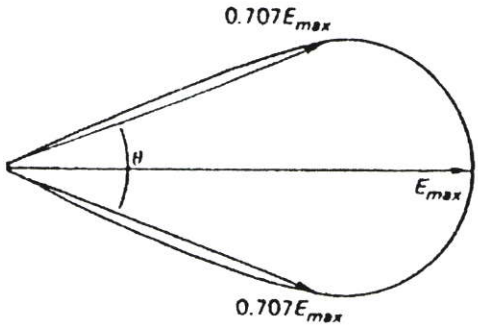
หรือในหน่วยเดซิเบล $= 20 \text{ Log } 10 = 20 \text{ dB}$ **Ans.**

2.3 บีมวิดท์ (BEAMWIDTH)

จัดเป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น เพื่ออธิบายถึงไดเร็คติวิตี้ของสายอากาศได้ดี โดยกำหนดให้มีหน่วยเป็นมุมที่คิดจากกรณีดังนี้ (มีความหมายเหมือนกันทุกกรณี)

- ที่จุดซึ่งมีค่าพลังงานในการแพร่คลื่นลดลงเหลือครึ่งหนึ่งจากค่าสูงสุด
- หรือจุดที่ค่าความเข้มสนามเหลือ $1/\sqrt{2}$ หรือ 0.707 เท่าของค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด
- หรือจุด 3 dB บนรูปแบบการแพร่คลื่น

แสดงค่าบีมวิดท์ (θ) จากรูป ข 2.4



รูปที่ ข2.4 แสดงบีมวิดท์ของสายอากาศ

2.4 อัตราขยายของสายอากาศ

ค่านี้ไม่ใช่ค่าอัตราส่วนระหว่างพลังงานเอาท์พุทต่อด้านอินพุท แต่เป็นอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้วัดคุณสมบัติไดเร็คติวิตี้ และสามารถระบุถึงปริมาณของการแพร่คลื่นมีมากในทิศทางใด การคิดค่าอัตราขยายของสายอากาศจะวัดเทียบกับสายอากาศอ้างอิง

โดยอัตราขยายของสายอากาศส่งคือ ค่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มของสนามไฟฟ้าตามทิศที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด เทียบกับค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่จุดเดียวกันของสายอากาศอ้างอิง หรืออาจแสดงในรูปอัตราส่วนของค่าพลังงานที่ต้องใช้ส่งอากาศของสายอากาศทั้งสอง เพื่อให้เกิดความเข้มสนามขนาดเท่ากัน (ณ จุดเดียวกัน) ในทิศทางที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด หรืออัตราขยายของสายอากาศรับ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มสนามของสายอากาศทดสอบกับสายอากาศอ้างอิง ณ จุดตั้งสายอากาศที่เดียวกัน

การใช้สายอากาศอ้างอิงมักเป็นไดโพลขนาด $\lambda/2$ หรือ แบบไอโซทรอปิก ซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ กระจายคลื่นได้รอบตัวทุกทิศในปริมาณเท่ากัน (ในความเป็นจริงเราไม่สามารถสร้างสายอากาศไอโซทรอปิกได้ มีใช้เฉพาะเป็นหลักการงานสายอากาศเท่านั้น) มีการทดลองจนได้ผลสรุปว่าอัตราขยายของสายอากาศไดโพลขนาด $\lambda/2$ เทียบค่ากับสายอากาศไอโซทรอปิกได้มากกว่าอยู่ 1.64 เท่า หรือ 2.15 dB

ตัวอย่างการคำนวณ

สายอากาศทดสอบถูกจ่ายหรือฟีดสัญญาณขนาด 10 kW จะได้ขนาดความเข้มสนาม ณ จุดทดสอบเท่ากับที่สร้างจากสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$ ซึ่งถูกฟีดด้วยสัญญาณขนาด 20 kW

จงคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศทดสอบ

(a) ใช้สายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$ อ้างอิง

(b) ใช้สายอากาศไอโซทรอปิกอ้างอิง

ถ้ามีการปรับปรุงประสิทธิภาพของสายอากาศทดสอบที่ฟีดสัญญาณขนาด 10 kW ให้สร้างความเข้มสนาม ณ จุดเดิมมากเป็นสองเท่า ให้คำนวณอัตราขยายของสายอากาศหลังจากปรับปรุง (ใช้สายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$ อ้างอิง)

คำตอบ

(a) ค่าอัตราขยายของสายอากาศทดสอบเทียบกับแบบ $\lambda/2$

$$= 10 \log_{10} \frac{20\times10^{3}}{10\times10^{3}} = 3 \quad \text{dB} \qquad \text{(Ans.)}$$

(b) เนื่องจากอัตราขยายของไดโพลแบบ $\lambda/2$ เทียบกับไอโซทรอปิก = 2.15 dB ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศทดสอบกับไอโซทรอปิก = 2.15 + 3 = 5.15 dB (Ans.) สำหรับสายอากาศที่ปรับปรุงแล้วให้ค่าความเข้มสนามเป็น 2 เท่าจากเดิม

ดังนั้นค่าอัตราขยายใหม่ = $2(10 \log_{10} 2)$ = 6 dB

และเทียบกับไดโพลแบบ $\lambda/2$ จะได้อัตราขยาย = 3 + 6 = 9 dB (Ans.)

ตัวอย่างการคำนวณ

ในการทดสอบสายอากาศชนิดหนึ่งที่ไม่รู้ค่าอัตราขยายกับสายอากาศมาตรฐานแบบหนึ่งที่รู้ค่าอัตราขยาย กำหนดให้วัดค่าพลังงานที่ถูกส่งมาถึงสายอากาศ และแม็ชท์ได้พอดีกับโหลดได้ดังนี้

สายอากาศทดสอบวัดได้ 2 μW

สายอากาศมาตรฐานวัดได้ 8 μW

ถ้าอัตราขยายของสายอากาศมาตรฐานเทียบกันแบบไอโซทรอปิกมีค่า 30 dB

จงคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศที่ทดสอบนี้

คำตอบ

หาอัตราขยายของสายอากาศมาตรฐานเทียบกับสายอากาศที่ทดสอบได้

$$= 10\log_{10} \frac{8\times10^{-6}}{2\times10^{-6}} = 6 \quad \text{dB}$$

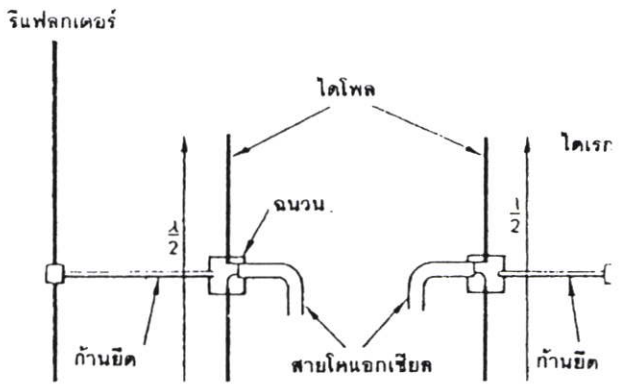
ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศทดสอบเทียบกับไอโซทรอปิก = 30 - 6 = 24 dB

2.5 สายอากาศแบบยากิ (YAGI ANTENNA)

เราสร้างสายอากาศยากิจากไดโพลแบบ $\lambda/2$ และพาราซิติกอีลีเมนท์ โดยการอธิบายความหมายของพาราซิติกอีลีเมนท์คือ ส่วนของสายอากาศที่ไม่ได้ต่อโดยตรงกับสายนำสัญญาณจากเครื่องรับหรือเครื่องส่ง แต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหรือแรงดันบนตัวเองได้ และสายอากาศที่นำมาใช้งานร่วมกับตัวพาราซิติก เรียกว่า พาราซิติกอาร์เรย์

จากที่ได้อธิบายมาก่อนแล้วถึงคุณสมบัติของไดโพลแบบ $\lambda/2$ ที่มีรูปแบบการแพร่คลื่นในระนาบแนวราบของไดโพลที่วางแนวตั้งเป็นวงกลม เหมือนรูป ข2.5 (a) และในระนาบแนวตั้งพบว่าไม่มีการแพร่หรือรับคลื่นเลย ซึ่งงานสื่อสารวิทยุทั่วไปจะต้องการประสิทธิภาพของสายอากาศที่มีไดเร็คติวิตี้มากกว่าหนึ่ง

การเพิ่มพลังงานในไดเร็ตติวิตี้ ทำได้โดยการใช้ไดโพลแบบ $\lambda/2$ ร่วมกับพาราซิติกอีลีเมนท์ที่เรียกว่า รีเฟลกเตอร์ ซึ่งเป็นแท่งตัวนำที่มีขนาดยาวกว่า $\lambda/2$ อยู่ประมาณ 5 % โดยติดตั้งไว้อีกด้านของสายอากาศในทิศทางตรงข้ามกับทิศที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด ดังรูป ข2.5 (a)



รูปที่ ข2.5 แสดงสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$ พร้อมกับ

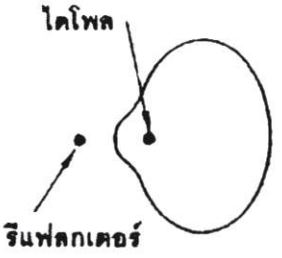
(a) รีเฟลกเตอร์

(b) ไดเรกเตอร์

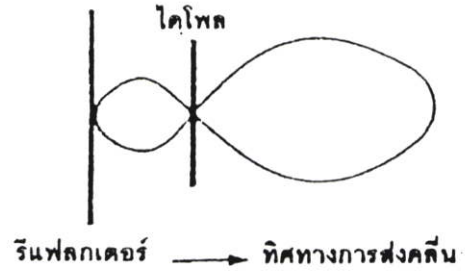
รีเฟลกเตอร์มีผลต่อรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพลแบบ $\lambda/2$ เนื่องจากมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกเหนี่ยวนำที่มันมีผลให้ตัวรีเฟลกเตอร์สามารถแพร่คลื่นเองได้ตัวแปรที่มีผลต่อรูปแบบการแพร่คลื่นมี

1. ความยาวของรีเฟลกเตอร์
2. ระยะห่างจากไดโพล

พิจารณาในรูป ข 2.6 และ ข2.7 ตามลำดับ



รูปที่ ข2.6 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$ และรีเฟลกเตอร์ในระนาบแนวราบ



รูปที่ ข2.7 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$ และรีเฟลกเตอร์ในระนาบแนวตั้ง

จากทั้งสองรูปเห็นได้ชัดว่า ไดเร็คติวิตี้ของอาร์เรย์แบบนี้ดีกว่าไดโพลอย่างเดียว เหตุที่รีเฟลกเตอร์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนี้อธิบายได้ว่าเมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้า (ที่ความถี่รีโซแนนซ์) และกระแสให้กับไดโพลจะมีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปทุกทิศในแนวตั้งฉากกับไดโพล พลังงานบางส่วนเดินทางมารีเฟลกเตอร์ และเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้น ซึ่งมีเฟสตามหลังแรงดันไฟฟ้าส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่โดยคิดจากระยะห่างของอีลีเมนท์ อย่างเช่น ถ้าระยะห่างเท่ากับ $0.15\ \lambda$ ทำให้ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่รีเฟลกเตอร์มีเฟสตามหลังส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่ 180° สิ่งนี้มีผลต่อกระแสในทำนองเดียวกัน

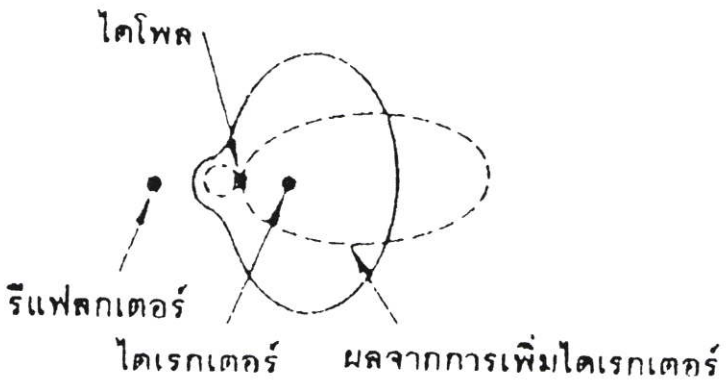
ตอนนี้รีเฟลกเตอร์ก็สามารถแพร่คลื่นได้ในทุกทิศที่ตั้งฉากกับมันเช่นกัน ถ้าความยาวของรีเฟลกเตอร์ และระยะห่างระหว่างไดโพล/รีเฟลกเตอร์ถูกพิจารณาเลือกมาอย่างเหมาะสมแล้ว พลังงานส่วนที่แพร่มาจากรีเฟลกเตอร์จะไปเสริมในส่วนของไดโพลในทิศทางที่ต้องการ ไม่เช่นนั้นทุกอย่างตรงข้ามกันคือจะมีการหักล้างของพลังงานเกิดขึ้น

การเพิ่มค่าไดเร็คติวิตี้และอัตราขยายของไดโพล สามารถทำได้อีกโดยแพร่พาราซิติกอีลีเมนท์อันใหม่ลงไปโดยวางตำแหน่งตรงข้ามกับรีเฟลกเตอร์ เราเรียกอีลีเมนท์ใหม่ว่า ไดเรกเตอร์ ที่

มีขนาดสั้นกว่า $\lambda/2$ อยู่ประมาณ 5 % ขณะที่ไดโพลแพร่คลื่นจะมีบางส่วนเหนี่ยวนำให้ไดเรกเตอร์สามารถแพร่คลื่นได้ เช่นเดียวกับรีเฟลกเตอร์

การพิจารณาเลือกความยาวของไดเรกเตอร์ และระยะห่างระหว่างไดโพล/ไดเรกเตอร์นับว่าสำคัญมาก เพราะถ้าเลือกค่าถูกต้อง พลังงานที่แพร่จากไดเรกเตอร์จะไปเสริมกับส่วนของไดโพลเป็นการเพิ่มค่าไดเร็คติวิตี้ และอัตราขยายมากขึ้น

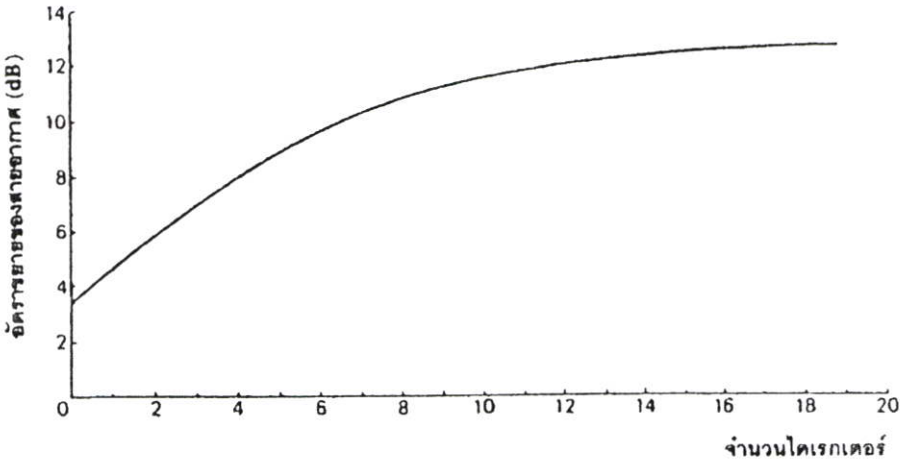
พิจารณาผลที่มีต่อรูปแบบการแพร่คลื่นของไดเรกเตอร์ไดโพลและรีเฟลกเตอร์ได้ ในรูปที่ ข2.8



รูปที่ ข2.8 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$, รีเฟลกเตอร์ และไดเรกเตอร์ในระนาบแนวนอน

หมายเหตุ ไดโพลจัดเป็นตัวถูกขับ หรือดริเว่นอีลีเมนท์ ซึ่งหมายถึง อีลีเมนท์ส่วนที่ต่อตรงกับสายนำสัญญาณ

การเพิ่มค่าไดเร็คติวิตี้ หรืออัตราขยายของสายอากาศให้มากกว่านี้ ไม่อาจทำได้โดยเพิ่มรีเฟลกเตอร์ ตัวที่สองลงไป เพราะว่าสนามแม่เหล็กหลังรีเฟลกเตอร์ตัวแรกมีค่าอ่อนมากจนนำมาเหนี่ยวนำไม่ได้ แต่การเพิ่มไดเรกเตอร์ให้มากจำนวนขึ้นมีผลให้ค่าอัตราขยายของสายอากาศเพิ่มได้จริง ดังกราฟในรูป ข2.9



รูปที่ ข2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนไดเรกเตอร์กับ
อัตราขยายของสายอากาศยากิในทิศทางที่มีการแพร่มากที่สุด

ในทางปฏิบัติ การพิจารณาเลือกค่าระยะห่างระหว่างอีลีเมนท์ต้องคำนึงถึง 2 สิ่งคือ

1. อัตราขยายที่ต้องการของอาร์เรย์
2. อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบคที่ต้องการ

ทั่วไปแล้วระยะห่างระหว่างไดโพล/รีเฟลกเตอร์มีค่าระหว่าง 0.15λ - $0.25\ \lambda$ และระยะห่างระหว่างไดโพล/ไดเรกเตอร์ มีค่าระหว่าง $0.1\ \lambda$ - $0.15\ \lambda$

ตัวอย่างการคำนวณ

สายอากาศอาร์เรย์ประกอบด้วยไดโพลแบบ $\lambda/2$ วางในแนวตั้งพร้อมกับรีเฟลกเตอร์และไดเรกเตอร์อย่างละหนึ่งจงคำนวณขนาดและระยะห่างกันของแต่ละอีลีเมนท์ในการใช้งานที่ความถี่ 100 MHz

คำตอบ

ที่ความถี่ 100 MHz ค่า $\lambda = 3 \times 10^8 / 100 \times 10^6 = 3$ m ดังนั้น $\lambda/2 = 1.5$ m
ในการใช้งานจริงไดโพลต้องสร้างให้มีขนาดสั้นกว่าที่คำนวณเล็กน้อย เพราะว่าสนามไฟฟ้าที่รั่วเกินมาในแต่ละปลายของไดโพลจะไปเพิ่มความยาวทางไฟฟ้าให้ยาวขึ้น

ดังนั้นความยาวของไดโพล = 1.43 m **Ans.**

ส่วนรีเฟลกเตอร์ควรยาวกว่า $\lambda/2$ อยู่ประมาณ 5 % แต่มีระยะห่างจากไดโพลอยู่ $0.15\ \lambda$

ดังนั้นความยาวของรีเฟลกเตอร์ = 1.57 m **Ans.**

และระยะห่างระหว่างไดโพล/รีเฟลกเตอร์ = 0.6 m **Ans.**

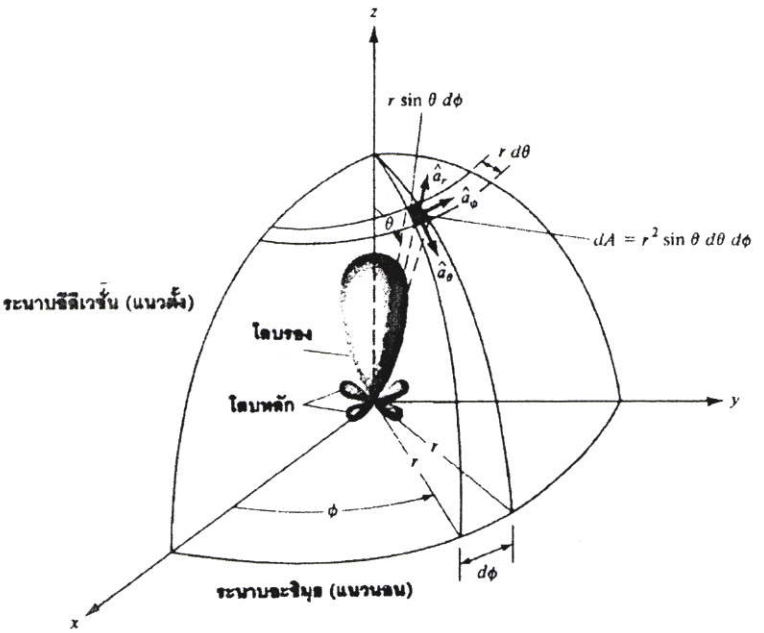
ส่วนไดเรกเตอร์ควรสั้นกว่า $\lambda/2$ อยู่ประมาณ 5 %

ดังนั้นความยาวของไดเรกเตอร์ = 1.43 m **Ans.**

และระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์/ไดโพล = 0.4 m **Ans.**

2.6 รูปแบบการแพร่คลื่น

เป็นการเขียนคุณสมบัติต่างๆในการแพร่คลื่นลงเป็นภาพขึ้นมา ซึ่งสามารถแสดงถึงความหนาแน่นของการแพร่กระจายคลื่น, ความเข้มสนาม, เฟส หรือโพลาไรเซชั่นได้ คุณสมบัติเหล่านี้มีลักษณะการกระจายค่าแบบ 3 มิติ จึงใช้แกนโคโอดิเนตแบบ 3 มิติ (X,Y,Z) แทนได้ดังรูป ข2.10

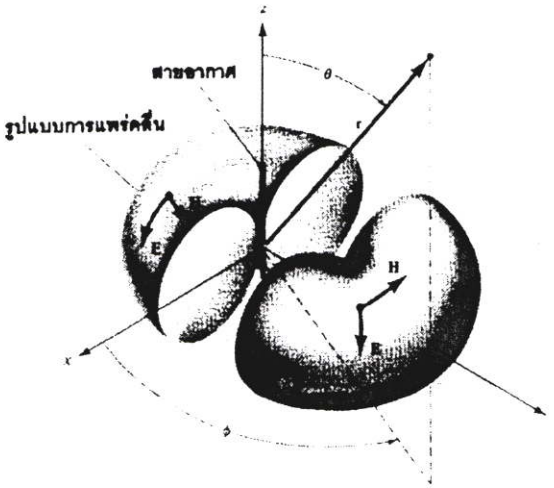


รูปที่ ข2.10 แสดงแกนโคโอดิเนตในการวิเคราะห์สายอากาศ

2.7 รูปแบบไอโซทรอปิก, ไดเร็คชั่นแนล และออมนิไดเร็คชั่นแนล

ไอโซทรอปิก คือสายอากาศในทางทฤษฎีที่สามารถแพร่คลื่นในทุกทิศทางด้วยความเข้มสนามเท่ากัน

ไดเร็คชั่นแนล คือคุณสมบัติในการแพร่คลื่นหรือรับคลื่นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งได้ดีกว่าทิศทางอื่น ยกตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเร็คชั่นแนลได้ ดังรูปที่ ข2.11

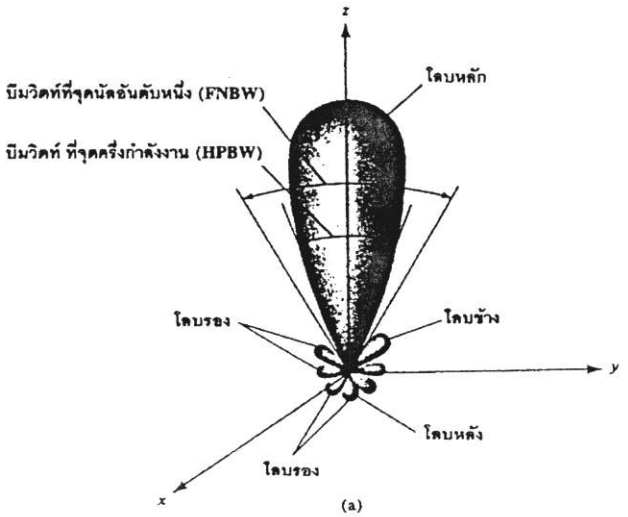


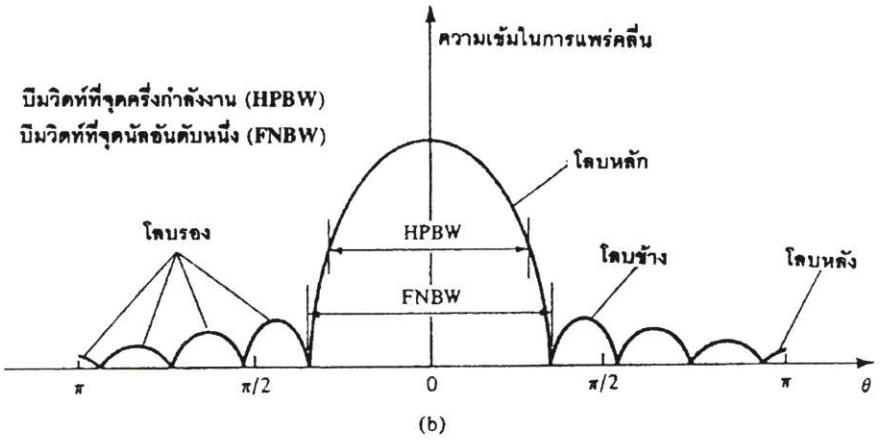
รูปที่ ข2.11 แสดงตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเร็คชั่นแนล

จากรูปวิเคราะห์ได้ว่า ไม่มีการไดเร็คชั่นแนลในระนาบแนวนอน [f (∅) ,θ = ค่าคงที่] และมีไดเร็คชั่นแนลในระนาบแนวตั้ง [g (∅) , θ = ค่าคงที่] เราเรียกรูปแบบการแพร่คลื่นในลักษณะนี้ว่า ออมิไดเร็คชั่นแนล ซึ่งหมายถึง " รอบตัว" ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้ดีตามแนวราบ

2.8 ส่วนต่างๆในรูปแบบการแพร่คลื่น

แต่ละส่วนของรูปแบบการแพร่คลื่นเรียกว่า โลบ ซึ่งยังแบ่งย่อยเป็น โลบหลัก, โลบรอง, โลบข้าง และโลบหลังอีกด้วย พิจารณาในรูปที่ ข2.12





(a) แสดงโลบและบีมวิดท์ (แบบ 3 มิติ)

(b) แสดงระดับกำลังคลื่น และโลบต่างๆ (แบบ 2 มิติ)

รูปที่ ข2.12 แสดงส่วนต่างๆ ของรูปแบบการแพร่คลื่น

อธิบายจากรูปได้ว่า ความหมายของโลบ คือ ส่วนของรูปแบบการแพร่คลื่นที่มีความเข้มของกำลังคลื่นสูง (รอบๆ เป็นความเข้มต่ำ)

ในรูปที่ ข2.12 (a) เป็นการเขียนรูปบนแกนโพลาร์ 3 มิติ ที่มีโลบอยู่หลายขนาดส่วนรูปที่ ข2.12 (b) เป็นการเขียนในลักษณะแกน 2 มิติ

โลบหลัก (MAJOR LOBE) หรืออาจเรียกว่า บีมหลัก หมายถึง โลบที่มีการแพร่ไปในทิศทางที่มีการแพร่มากที่สุด ในรูปที่ ข2.12 โลบหลักมีทิศตามจุด $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางแบบบีมลำคลื่นมากกว่าหนึ่ง จะมีโลบหลักมากกว่าหนึ่งโลบได้

โลบรอง (MINOR LOBE) คือ โลบอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลบหลัก ในรูปที่ ข2.12 (a)และ (b) ทุกโลบยกเว้นโลบหลัก เราระบุเป็นโลบรองได้

โลบข้าง (SIDE LOBE) คือ โลบที่อยู่ในทิศทางอื่น นอกเหนือไปจากทิศทางของโลบหลัก (ทั่วไปแล้วโลบข้างจะอยู่ติดกับโลบหลัก และมีทิศทางรอบบีมหลัก

โลบหลัง (BACK LOBE) คือ โลบรองที่มีทิศตรงข้ามกับโลบหลัก (ต่างกัน 180^0) เราพบว่าโลบรองจะเกิดในทิศที่ไม่ต้องการเสมอ จึงควรลดขนาดให้น้อยที่สุด สำหรับโลบข้างจัดเป็นโลบรองที่มีขนาดมากที่สุด (ต้องลดขนาดโลบข้างลง)

โดยทั่วไปถ้าระดับของโลบข้างมีค่าประมาณ –20 dB หรือน้อยกว่านี้จะไม่มีผลต่อการใช้งานมากนักจุดที่รับสัญญาณได้เท่ากับศูนย์ (ถึงแม้จะรีโซแนนซ์กับความถี่ในการส่ง) เรียกว่า นัล

	ใบงาน	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วย คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน	
เรื่อง/งาน คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน		จำนวนคาบ 4

1. จุดประสงค์ประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 นักศึกษาสามารถบอกความแตกต่าง Lobe Pattern ของสายอากาศได้อย่างถูกต้อง

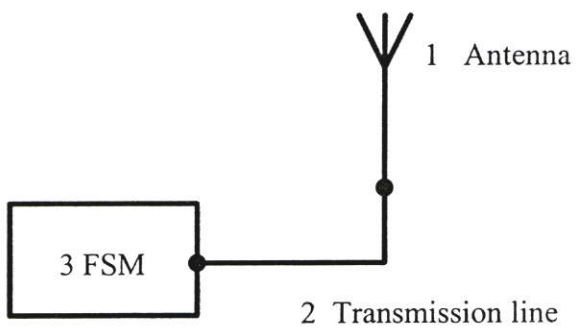
1.2 นักศึกษาสามารถหา Pattern ของสายอากาศชนิดต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง

1.3 นักศึกษาสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และแก้ปัญหาร่วมกันได้

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

2.1 สายอากาศย่าน UHF (CH29)	1	แผง	(พร้อมขาตั้งเสา)
2.2 สายนำสัญญาณหมายเลข 1 (RG6) ยาว 10 เมตร	1	เส้น	
2.3 เครื่องวัด Field Strength Meter	1	เครื่อง	
2.4 กล่องเครื่องมือ	1	กล่อง	

3. ลำดับขั้นการปฏิบัติงาน



การประกอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1 บันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงานจากการสาธิตของผู้สอน (5)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.2 ต่อวงจรตามรูปที่ 2.1 ใช้สายอากาศ YAGI 3E

3.3 ตั้งความถี่ของ FSM. ให้ตรงกับช่อง ITV (CH29)

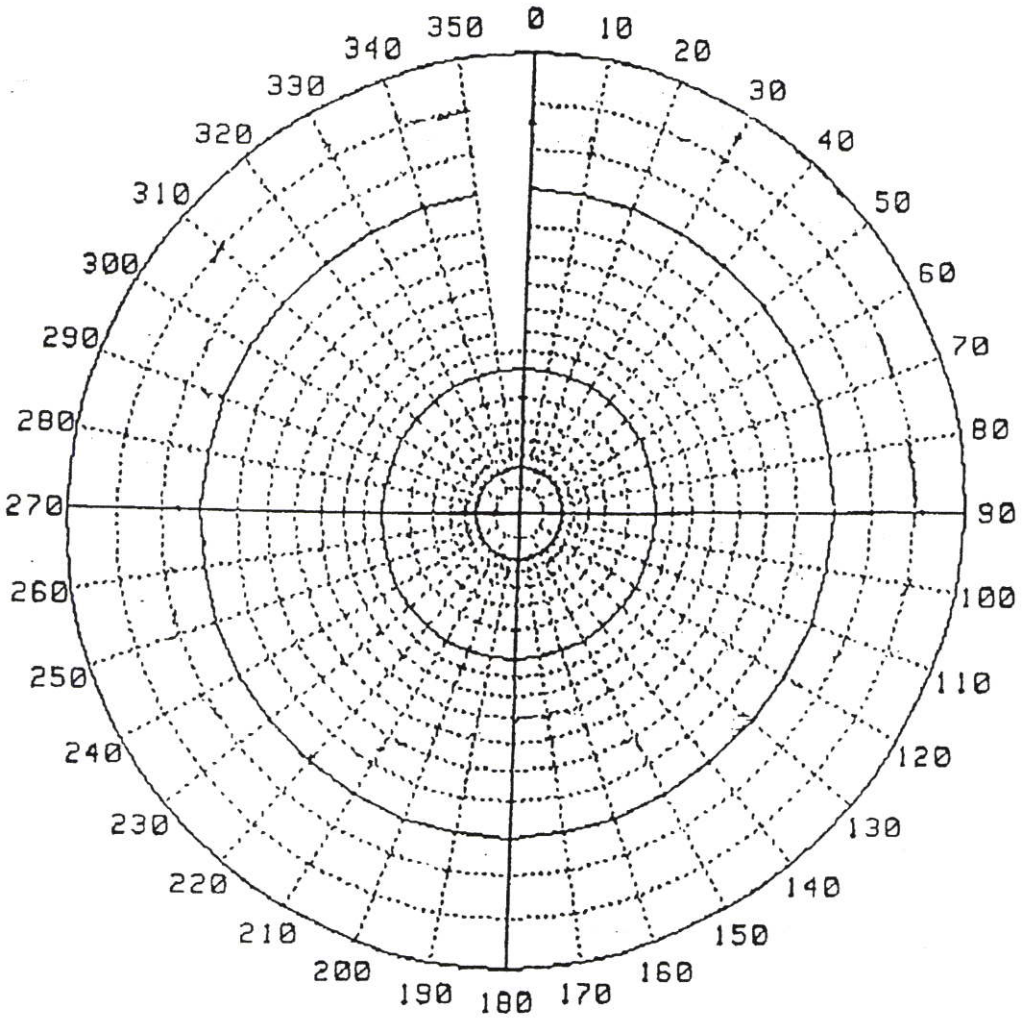
3.4 ปรับตำแหน่งของสายอากาศให้อ่านค่า FSM. ที่มีค่ามากที่สุด คือ .....dB.

3.5 นำค่าที่อ่านได้บันทึกลงในตาราง

3.6 ปรับสายอากาศไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ทางขวา) ครั้งละ 10 องศา บันทึกค่าลงในตารางจนครบ 360 องศา (5)

องศา	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Gainการรับ												
องศา	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
Gainการรับ												
องศา	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360
Gainการรับ												

3.7 นำค่าจากตารางบันทึกลงกราฟ เพื่อหา Pattern ของสายอากาศ (5)



3.8 เปลี่ยนสายอากาศเป็น YAGI 14E แล้วทดลองตามข้อที่ 3.3-3.7 แล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน

องศา	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Gainการรับ												
องศา	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
Gainการรับ												
องศา	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360
Gainการรับ												

4. ปัญหา

4.1 สายอากาศ YAGI 3E กับ 14E รูป Pattern มีความแตกต่างกันเพราะเหตุใด (5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

4.2 จากการทดลองสายอากาศ Yagi 3E มีอัตราขยายน้อยกว่า 14E เท่ากับ .....dB. (พร้อมทั้งแสดงวิธีการคำนวณ) (5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. สรุปผลการทดลอง (5)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

	แบบประเมิน	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วย คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน	
เรื่อง/งาน คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน		จำนวนคาบ 4

1. คุณสมบัติในการแพร่กระจายคลื่นได้มากในบางทิศทาง เรียกว่าอะไร

ก. Directivity

ข. Radiation Pattern

ค. Radiation Resistance

ง. Meridian Plan

2. ระนาบในการแพร่คลื่นที่กำหนดไว้เพื่อการพิจารณารูปแบบคลื่นมี 2 ระนาบคือข้อใด

ก. ระนาบ X Plan กับระนาบ Y Plan

ข. ระนาบ Vertical กับระนาบ Horizontal

ค. ระนาบอิเควโทเรียลกับระนาบเมอริเดียน

ง. ระนาบ E Plan กับระนาบ H Plan

3. สายอากาศชนิดแนวตั้งมีระนาบใดเป็นแนวระนาบในการแพร่กระจายคลื่นและอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก

ก. ระนาบ Vertical

ข. ระนาบเมอริเดียน

ค. ระนาบ Horizontal

ง. ระนาบอิเควโทเรียล

4. อัตราส่วน Front to Back Ratio มีค่าเท่ากับ 1 แสดงสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบใด

ก. ไม่มีการแพร่กระจายคลื่น

ข. กระจายคลื่นเป็นวงกลมรอบตัว

ค. มีทิศทางกระจายข้างหน้าเท่ากับข้างหลัง

ง. มีไดเร็คติวิตี้ไปข้างหน้ามากกว่าข้างหลัง

5. ถ้าวัดความแรงของสนามได้ค่าแรงดันสูงสุดที่ 20 mv/m. และหมุนสายอากาศรับได้ค่าวัดแรงดันต่ำสุด 10 μv/m. จะได้อัตราส่วนระหว่าง Front to Back เท่าใด

ก. 33 dB.

ข. 44 dB.

ค. 55 dB.

ง. 66 dB.

6. เรานิยมใช้สายอากาศชนิดใดเป็นสายอากาศอ้างอิงในการหาอัตราขยายของสายอากาศ

ก. ใช้สายอากาศแบบไดโพลขนาด $\lambda/4$

ข. ใช้สายอากาศแบบไดโพลขนาด $\lambda/2$

ค. ใช้สายอากาศแบบไอโซทรอปิก

ง. เลือกใช้ได้ทั้งข้อ ข และข้อ ค

7. สายอากาศที่สร้างขึ้นถูกจ่ายหรือฟีดสัญญาณขนาด 10 KW. จะได้ขนาดความเข้มสนาม ณ จุดทดสอบเท่ากับที่สร้างสายอากาศไดโพลมาตรฐาน ซึ่งต้องฟีดสัญญาณขนาด 40 KW. อัตราขยายของสายอากาศที่สร้างมีค่าเท่าใด

ก. 4 dB.

ข. 5 dB.

ค. 6 dB.

ง. 7 dB.

8. ถ้านำไปเทียบกับสายอากาศแบบไอโซทรอปิกจะได้อัตราขยายเท่าใด

ก. 6.15 dB.

ข. 7.15 dB.

ค. 8.15 dB.

ง. 9.15 dB.

9. อะไรเป็นตัวแปรที่ทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ Yagi แบบ 2 Element เปลี่ยนไป

ก. ความยาวของรีเฟลกเตอร์

ข. ระยะห่างของดริเว่นอิลีเมนท์

ค. ความยาวของ Boom

ง. เป็นไปได้ทั้งข้อ ก และข้อ ข

10. การแพร่คลื่นแบบออมิไดเร็คชั่นแนลคือข้อใด

ก. การแพร่กระจายคลื่นแบบวงกลมทุกทิศทุกทาง

ข. การแพร่คลื่นที่ไม่มีไดเร็คชั่นแนลในแนวนอนแต่มีในแนวตั้ง

ค. การแพร่คลื่นที่ไม่มีไดเร็คชั่นแนลในแนวตั้งแต่มีในแนวนอน

ง. การแพร่คลื่นในแนวลูปหลักแนวเดียวโดยไม่มีลูปข้างและลูปหลัง

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
ใบงานที่ 2 คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน

ผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	ระดับคะแนน				
	ควรปรับปรุง (1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง (15 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือติดตั้งอุปกรณ์ (5)	1	2	3	4	5
1.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5)	1	2	3	4	5
1.3 เวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ (5)	1	2	3	4	5
(2) การปฏิบัติการทดลอง (15 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.3 เวลาในการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
(3) การบันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5 คะแนน)	1	2	3	4	5
(4) การบันทึกผลการทดลอง (15 คะแนน)	3	6	9	12	15
(5) การตอบคำถามท้ายการทดลอง (15 คะแนน)	3	6	9	12	15
(6) แบบประเมินหน่วยที่ 2 (10 คะแนน)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ทฤษฎี 30% คือ ..... ปฏิบัติ 70% คือ				

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

	แผนการสอน	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 3
	ชื่อหน่วย การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณระหว่างสายส่งสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณระหว่างสายส่งสายอากาศ		จำนวนคาบ 4

หัวข้อเรื่อง

ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับกำลังประสิทธิผลของสายอากาศ ความต้านทานการแพร่คลื่นและประสิทธิภาพสายอากาศ ช่วงความถี่และอัตราส่วน SWR การสูญเสีย ขีดจำกัดของกำลังคลื่น การแมทช์สายนำสัญญาณ

สาระการเรียนรู้

1. กำลังประสิทธิผลของสายอากาศ
2. ความต้านทานการแพร่คลื่นและประสิทธิภาพสายอากาศ
3. ช่วงความถี่และอัตราส่วน SWR
4. การสูญเสีย
5. ขีดจำกัดของกำลังคลื่น
6. การแมทช์สายนำสัญญาณ

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

สาระที่ 1 กำลังประสิทธิผลของสายอากาศ

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 2 ความต้านทานการแพร่คลื่นและประสิทธิภาพสายอากาศ

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 3 ช่วงความถี่และอัตราส่วน SWR

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

มาตรฐานที่ 2 ทดสอบคุณสมบัติสายส่งวิทยุ

สาระที่ 4 การสูญเสีย

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

มาตรฐานที่ 3 วัดและทดสอบคุณสมบัติสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 5 ขีดจำกัดของกำลังคลื่น

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 6 การแมทช์สายนำสัญญาณ

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

กิจกรรมการเรียนการสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นักศึกษาฟังคำอธิบายประกอบการสาธิตการทดลองใบงานที่ 3
2. นักศึกษาตั้งใจฟังคำสั่งจากครูเกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองที่สำคัญ การปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยและข้อควรระวัง
3. ครูและนักศึกษาช่วยกันสรุปขั้นตอนในการทดลองใบงานที่ 3

ขั้นปฏิบัติงาน

4. นักศึกษาแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน
5. นักศึกษาแต่ละกลุ่มทำความเข้าใจกับวัตถุประสงค์ของใบงาน และทบทวนความรู้จากใบความรู้หน่วยที่ 3
6. นักศึกษาฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงานที่ 3 ในเอกสารใบงาน
7. ครูตรวจสอบการปฏิบัติงานของนักศึกษา และให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางการปฏิบัติที่ถูกต้อง
8. ครูสังเกตการปฏิบัติงานของนักศึกษาและบันทึกลงในแบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ
9. นักศึกษาฟังการวิจารณ์ ติ ชมของครู พร้อมทั้งช่วยกันแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผลและช่วยกันแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อนำไปปฏิบัติให้ถูกต้องในโอกาสต่อไป
10. นักศึกษาทำแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 3 เปลี่ยนกันตรวจ โดยดูเฉลยบนกระดานเสร็จแล้วส่งผลคะแนนให้ครู

ขั้นสรุปและการประยุกต์

11. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปบทเรียน โดยเปิดโอกาสให้ซักถามถ้ามีข้อสงสัยในเรื่องใด

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารใบความรู้หน่วยที่ 3 เรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณระหว่างสายส่งสายอากาศ
2. ใบงานที่ 3 เรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณระหว่างสายส่งสายสายอากาศ
3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองตามที่ระบุในใบงานที่ 3

การวัดผลและการประเมินผล

1. วิธีวัดผล

1. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 3
2. ฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงาน

2. เครื่องมือวัดผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 3
2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ

3. เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้ เกณฑ์ผ่าน ต้องตอบคำถามได้ถูกต้องไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่ง
2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ เกณฑ์ผ่าน ปานกลาง (ประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ 50% ขึ้นไป)

	ใบความรู้	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 3
	ชื่อหน่วย การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณระหว่างสายส่งสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณระหว่างสายส่งและสายอากาศ		จำนวนคาบ 4

1. จุดประสงค์

1.1 นักศึกษาสามารถหาค่ากำลังส่งประสิทธิผลของสายอากาศที่ใช้งานจริงได้อย่างถูกต้อง

1.2 นักศึกษาสามารถหาค่า SWR จากการคำนวณตามสูตรได้อย่างถูกต้อง

1.3 นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการแก้ปัญหา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศได้อย่างถูกต้อง

2. เนื้อหา

2.1 กำลังส่งประสิทธิผล (EFFECTIVE RADIATION POWER)

ในทางทฤษฎีสายอากาศไอโซทรอปิก มีคุณสมบัติแพร่กระจายพลังงานได้ทุกทิศรอบตัวและมีขนาดความเข้มสนามเท่ากันหมดตามระยะทางรอบสายอากาศ ส่วนสายอากาศที่ใช้งานจริง ทุกชนิดจะไม่มีคุณสมบัติเช่นนี้อยู่ โดยมีการอัดคลื่นวิทยุไปในทิศใดทิศหนึ่งเท่านั้น

ดังนั้นสรุปได้ว่า สายอากาศที่ใช้งานจริงต้องการกำลังที่ป้อนให้สายอากาศน้อยกว่าแบบไอโซทรอปิก ในการสร้างความเข้มสนามค่าเท่ากัน ณ จุดเดียวกัน ตามทิศทางที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด

กำลังประสิทธิผล หรือ ERP ของสายอากาศ หมายถึง ค่าพลังงานส่วนที่ไอโซทรอปิกใช้สร้างความเข้มสนามขนาดเท่ากับสายอากาศใช้งานจริง ณ จุดเดียวกัน หรือในอีกนัยคือ ถ้าเราใช้สายอากาศที่มีอัตราขยายกำลังของคลื่นวิทยุที่ออกอากาศจะถูกเพิ่มให้มากกว่ากำลังส่งของเครื่องส่งค่าที่มากขึ้นนี้เรียกว่า ERP

ในการคำนวณ ERP ของสายอากาศคิดจากกำลังส่งทั้งหมดที่ถูกส่งให้สายอากาศ (P_1) คูณกับอัตราขยายของสายอากาศ (G) ได้สูตรว่า

$$ERP = P_1 G$$

ตัวอย่างการคำนวณ

สายอากาศที่มีอัตราขยายเท่ากับ 10 dB (เมื่อเทียบกับแบบไอโซทรอปิก) จะแพร่คลื่นขนาด 1000 วัตต์ จงคำนวณหากำลังส่งประสิทธิผลของสายอากาศ

10 dB คือ พลังงานในอัตราส่วน 10:1 ดังนั้น คิดจากสูตรได้ว่า

ERP = 10 x 1000 = 10 กิโลวัตต์ **Ans.**

แถบความถี่ (Bandwidth)

จัดเป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศทำงานได้น่าพอใจ พิจารณาจากโลบหลัก (MAIN LOBE) ของรูปแบบการแพร่คลื่น ซึ่งคิดจากกราฟแถบความถี่ คือ ช่วงความถี่ที่ค่าพลังงานของสายอากาศที่แพร่ออกอากาศในทิศทางโลบหลักมีค่าไม่ต่ำกว่า 3 dB

2.2 ความต้านทานการแพร่คลื่นและประสิทธิภาพสายอากาศ

กำหนดค่าพลังงานที่แพร่จากสายอากาศมีสูตร

$$P = I^2R_r$$

R_r คือ ความต้านทานการแพร่คลื่น และถ้าคิดความต้านทาน เนื่องจากการสูญเสียความร้อนด้วยให้แทนอักษร R_L ดังนั้นประสิทธิภาพของสายอากาศ (เขียนแทนด้วยอักษร η) คืออัตราส่วนของพลังงานที่แพร่ออกอากาศต่อส่วนที่ป้อนให้สายอากาศ มีสูตรคำนวณดังนี้ (จะแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์)

$$\eta = \frac{I^2R_r}{I^2R_L + I^2R_r} = \frac{R_r}{R_L + R_r} \times 100\%$$

ตัวอย่างการคำนวณ

สายอากาศส่งความถี่ต่ำมีความต้านทานการแพร่คลื่น 0.3 โอห์ม และความต้านทานจากการสูญเสียเป็นความร้อน 1.5 โอห์ม ถ้ากระแสที่จ่ายให้สายอากาศมีขนาด 50 แอมป์ ให้คำนวณหากำลังส่งออกอากาศ , กำลังสัญญาณที่จ่ายเข้าและประสิทธิภาพของสายอากาศ

คำตอบ

กำลังส่งที่ออกอากาศ = $I^2R_r = (50)^2 \times 0.3 = 750$ วัตต์

กำลังสัญญาณที่จ่ายเข้า = $I^2R_r + I^2R_L = (50^2 \times 0.3) + (50^2 \times 1.5)$

= 4,500 วัตต์

ประสิทธิภาพของสายอากาศ = $\frac{100R_r}{R_L + R_r} = \frac{100 \times 0.3}{0.3 + 1.5} = 16.67\%$

ที่ความถี่ค่าต่ำมาก พบว่าประสิทธิภาพของสายอากาศมีค่าน้อย แต่ที่ความถี่สูงอาจมีค่าเพิ่มมากกว่า 90 % ได้

2.3 การแก้ปัญหาเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ

ความสับสนเกี่ยวกับสายนำสัญญาณกับสายอากาศ คือ ถ้ามีสายอากาศแบบเดียวกัน 2 จุด และใช้สายนำสัญญาณต่างชนิดกัน หรือใช้ชนิดเดียวกันแต่วิธีแมทช์ต่างกัน จะมีผลให้การใช้งานของสายอากาศทั้งสองนี้ต้องแตกต่างกันไป สาเหตุมาจากสายอากาศแบบเดียวกัน ถึงแม้จะใช้สายนำสัญญาณต่างชนิดก็สามารถนำมาใช้งานเดียวกันได้ เพราะว่าถ้าพิจารณาในแง่สายนำสัญญาณแล้วพบว่าสายอากาศเป็นเพียงโหลดที่นำมาต่อเท่านั้น จุดสำคัญอยู่ที่ว่าโหลดมีคุณสมบัติเป็นความต้านทานหรือรีแอ็กแตนซ์ต่อสายนำสัญญาณ นั่นคือ สายนำสัญญาณชนิดใดๆ สามารถนำมาใช้ร่วมกับสายอากาศแบบใดก็ได้ถ้ามีวิธีแมทช์ระหว่างกันที่ถูกต้อง

2.4 ช่วงความถี่และอัตราส่วน SWR

เป็นค่าที่ใช้วัดความไม่แมทช์กันระหว่างโหลดกับสายส่งซึ่งค่าหาได้จาก $SWR = \frac{Z_L}{Z_O}$ เงื่อนไขอย่างหนึ่งที่ใช้พิจารณาการใช้งานของสายนำสัญญาณ คือ ย่านความถี่ของสายอากาศในขณะใช้งานอยู่ จึงทำให้ผู้สร้างอาจมีตัวเลือกในการทำสายอากาศอยู่ได้ 2 วิธีคือ

1. ระบบสายอากาศที่ใช้ร่วมกับสายนำสัญญาณซึ่งมีค่า SWR ต่ำ แต่จะใช้ในย่านความถี่ได้หนึ่งค่า หรือมากกว่านี้เล็กน้อย (ย่านความถี่แคบ)

2. ระบบสายอากาศที่ใช้ร่วมกับสายนำสัญญาณซึ่งมีค่า SWR สูง แต่จะใช้ในหลายย่านความถี่ (ย่านความถี่กว้าง)

ในทางปฏิบัติวิธีต่อ (แมทช์) ระหว่างสายนำสัญญาณกับสายอากาศแบ่งได้ 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนหนึ่ง พิจารณาการใช้งานในย่านความถี่หลายย่านเป็นอันดับแรก และพิจารณาค่า SWR ที่เกิดขึ้นเป็นอันดับรอง ซึ่งโดยปกติค่า SWR จะค่อนข้างสูง และอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณขึ้นอยู่กับความยาวสายและความถี่ใช้งาน

ขั้นตอนสอง อาจมีความจำเป็นจะต้องปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้เท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย เพื่อให้แมทช์กัน มีผลทำให้ค่า SWR ต่ำลงและอินพุทอิมพีแดนซ์เป็นความต้านทานอย่างเดียวโดยทั่วไป เราพิจารณาสายนำสัญญาณที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสเป็นเส้นตรง (FLAT) โดยดูจากค่า SWR อยู่ในช่วง 1.5 – 1

2.5 การสูญเสีย (LOSSES)

เหตุสำคัญในการแมทช์อิมพีแดนซ์ เพื่อให้ได้ระดับของคลื่นในสายเป็นเส้นตรง เพราะจะมีค่าการสูญเสียกำลังต่ำสุด โดยทั่วไปเรามักจะลดค่าการสูญเสียลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้น และค่า SWRจะมีผลเกี่ยวข้องอย่างมาก แต่ถ้านำมาพิจารณาที่ย่านความถี่ต่ำจะมีการสูญเสียน้อยถึงแม้ความยาวของสายจะเพิ่มขึ้น

ตัวอย่างเช่น สายทวินลีดแบบ 300 โอห์ม ขนาดยาว 100 ฟุต จะมีค่าการสูญเสียเพียง 0.18 dB ที่ความถี่ 3.5 MHz และถึงแม้ว่าถ้าค่า SWR เพิ่มสูงเป็น 10 ต่อ 1 ค่าสูญเสียจะเพิ่มขึ้นมาอีกเพียง 0.7 dB ซึ่งถือว่าน้อยมาก เพราะ dB จะแทนการเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุดในความเข้มสัญญาณ ดังนั้นในความถี่ขนาดนี้จะไม่เน้นมากนักว่าระดับคลื่นในสายเป็นเส้นตรงหรือไม่ ส่วนกรณีความถี่ 144 MHz ค่าการสูญเสียของสายขนาดเดียวกันที่แมทช์ดีแล้วยังมีค่า 2.8 dB และถ้าค่า SWR เพิ่มเป็น 10 :1 ทำให้การสูญเสียส่วนที่เพิ่มขึ้นมีขนาด 3.9 dB

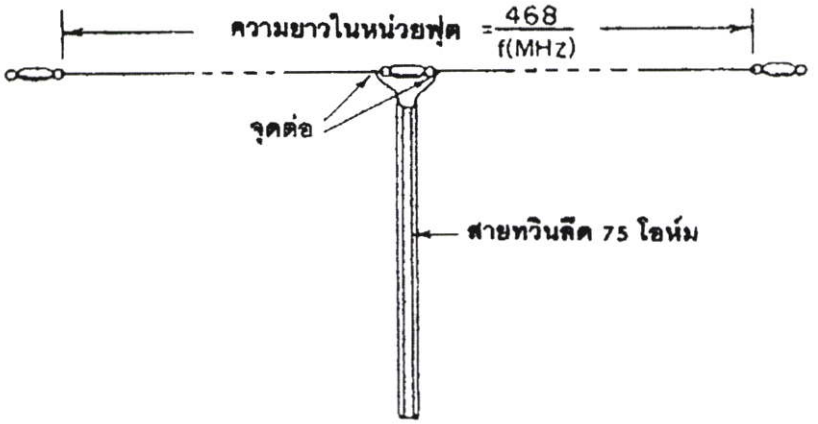
สรุปได้ว่า ที่ความถี่สูงขึ้นการแมทช์ ระหว่างสายนำสัญญาณกับสายอากาศ จะมีความสำคัญมาก

2.6 ขีดจำกัดของกำลังคลื่น

เหตุประการหนึ่งที่ต้องมีการแมทช์ คือ สายนำสัญญาณแต่ละชนิดจะมีขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอยู่ ดังนั้น การเลือกระดับกำลังคลื่นที่มาใช้กับสายจึงเป็นเรื่องสำคัญ ไม่เช่นนั้นอาจเกิดความเสียหายกับสายได้ มีหลักการว่า ขนาดกำลังไฟฟ้าที่สายนำสัญญาณใช้งานได้จะเป็นสัดส่วนกลับกันกับค่า SWR เช่นสายแบบ 300 โอห์ม (ทวินลีด) ใช้กำลังไฟฟ้าได้ 500 วัตต์ ถ้าถูกแมทช์อย่างดี (SWR = 1:1) แต่จะมีค่าเหลือ 50 วัตต์ ถ้าค่า SWR เพิ่มขึ้นเป็น 10:1

2.7 การแมทช์สายนำสัญญาณ

การใช้งานสายนำสัญญาณที่ค่าอัตราส่วน SWR ต่ำต้องใช้โหลดที่แมทช์กับอิมพีแดนซ์ประจำสายให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

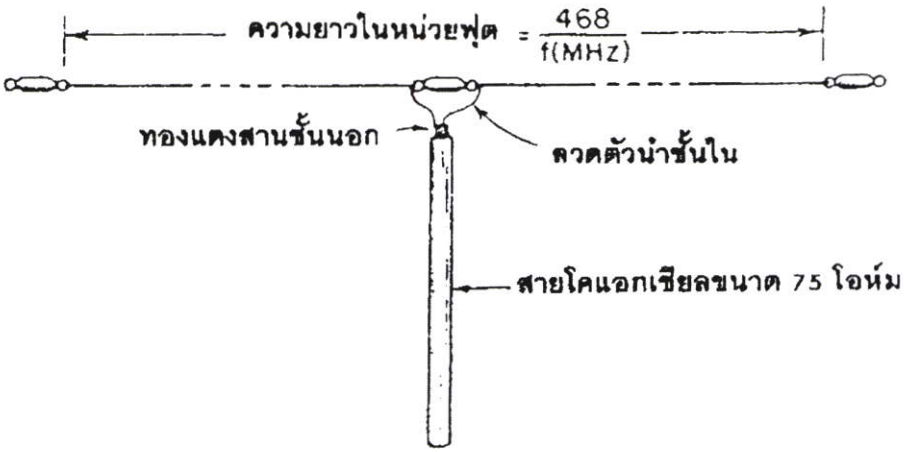


รูปที่ ข3.1 แสดงการต่อไดโพลแบบ ½ λ กับสายทวินลีด 75 โอห์ม

วิธีต่อในรูป ข3.1 ใช้งานได้ดีเมื่อความถี่ใช้งานเป็นจำนวนเท่าเลขคี่ของความถี่พื้นฐานเช่น สายอากาศจะรีโซแนนซ์ที่ความถี่ 7 MHz สามารถทำงานในความถี่ 21 MHz โดยเกิดค่า SWR ต่ำได้ดี (3 เท่าจากความถี่พื้นฐาน) แต่กรณีเป็นจำนวนเท่าเลขคู่ของความถี่พื้นฐาน จะให้ผลการทำงานไม่ดีเลย

2.8 กรณีใช้สายโคแอกเชียล

แทนที่จะใช้สายทวินลีดเหมือนกรณีก่อนเราสามารถใช้สายโคแอกเชียลแบบ 75 โอห์ม (เช่น ชนิด RG-11) ต่อแทนได้ ดังในรูป



รูปที่ ข3.2 แสดงการต่อสายอากาศแบบ ½ λ กับสายโคแอกเชียลขนาด 75 โอห์ม

บางครั้งอาจใช้สายโคแอกเชียลที่มีอิมพีแดนซ์ประมาณ 52 โอห์มได้ เช่น ชนิด RG 58 เมื่อความสูงของสายอากาศต่ำกว่า $\frac{1}{2}\lambda$ เพราะมีผลลดค่าความต้านทานการแพร่คลื่นของสายอากาศลง

ปัญหาข้อนี้มีทางแก้ไข 2 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 เลือกสายนำสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย แมทช์กับความต้านทานของสายอากาศที่จุดต่อ

วิธีที่ 2 ปรับค่าความต้านทานของสายอากาศ ให้แมทช์กับค่า Z_0 ของสายนำสัญญาณที่เลือกใช้

วิธีแรกจัดว่าง่ายและไม่ยุ่งยากที่จะต่อโดยตรงเลย แต่ข้อจำกัดของวิธีนี้มีสูงมากเพราะอิมพีแดนซ์ของสายอากาศและสายนำสัญญาณที่มีค่าเท่ากันหาได้น้อยชนิดมาก สำหรับวิธีที่สองให้อิสระในการประยุกต์ใช้งานสูง ข้อเสียประการเดียว คือ ความยุ่งยากในการสร้าง

2.9 พิจารณาการทำงาน

ระบบสายอากาศส่วนมากมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานอย่างเห็นได้ชัด เมื่อความถี่เพิ่มจากค่าพื้นฐานเป็นจำนวนเท่าของค่านี้

ด้วยเหตุนี้การแมทช์อิมพีแดนซ์สายนำสัญญาณจึงมักทำได้เฉพาะย่านความถี่เดียวเท่านั้น โดยส่วนใหญ่ระบบสายอากาศที่แมทช์จะใช้ในกิจการหนึ่งแถบความถี่ ถึงแม้ว่าบางกรณีอาจเกินไปจากแถบความถี่ที่กำหนดก็จะไม่มากนัก

แถบความถี่นี้พิจารณาได้จากช่วงที่มีค่า SWR ต่ำ หรือดูจากลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ต่อความถี่ โดยค่าอิมพีแดนซ์มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อค่าความถี่เปลี่ยนไปมีผลให้ค่า SWR ต่ำและแถบความถี่กว้าง

	ใบงาน	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 3
	ชื่อหน่วย การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณระหว่างสายส่งสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณระหว่างสายส่งและสายอากาศ		จำนวนคาบ 4

1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 นักศึกษาสามารถต่ออุปกรณ์เพื่อทดสอบหาค่า SWR ของสายอากาศได้อย่างถูกต้องตามเวลาที่กำหนด (30 นาที)

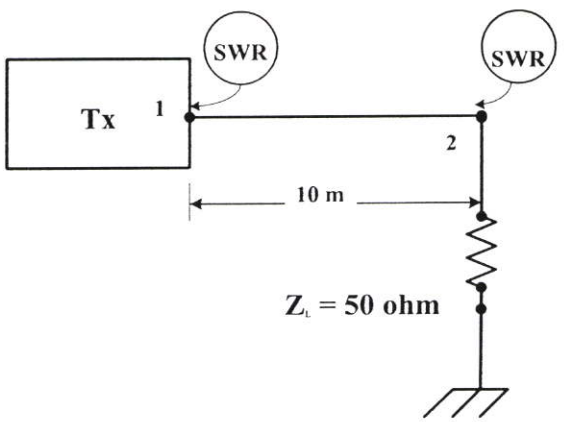
1.2 นักศึกษาสามารถแก้ปัญหาที่เกิดจากการที่ค่า SWR มีค่าเกิน 1.5 : 1 ได้

1.3 นักศึกษาสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และแก้ปัญหาร่วมกันได้

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

2.1 สายอากาศ YAGI 3E	1 แผง (พร้อมขาตั้ง)
2.2 SWR มิเตอร์	1 เครื่อง
2.3 สายนำสัญญาณ 58A/U (10 เมตร)	1 เส้น
2.4 เครื่องส่งวิทยุย่าน VHF (245 MHz)	1 เครื่อง
2.5 กล่องเครื่องมือ	1 กล่อง
2.6 Dummy Load 50 Ω	1 ตัว

3. ลำดับขั้นการปฏิบัติงาน



รูปที่ 1

3.1 บันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงานจากการสาธิตของผู้สอน (5)

.....

.....

.....

.....

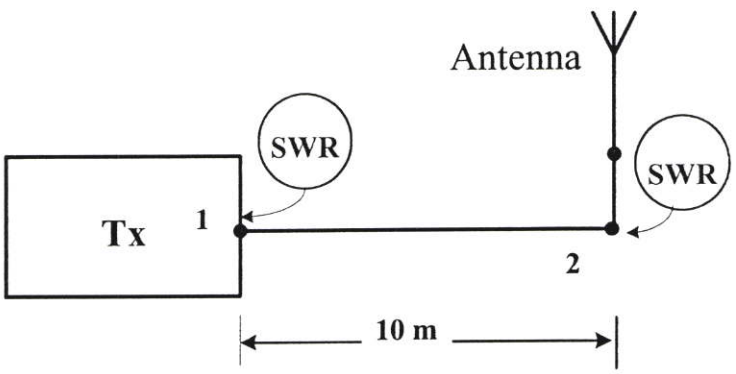
.....

.....

.....

3.2 ต่อวงจรตามรูปที่ 1 ใช้ SWR มิเตอร์วัดค่าที่จุด 1 ได้ค่า = ... **:1** ; Power = ...W

3.3 จากรูปใช้ SWR มิเตอร์วัดค่าที่จุด 2 ได้ค่า = ... **:1 ;** Power = **.....**W



รูปที่ 2

3.4 ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 2 ใช้ SWR มิเตอร์วัดค่าที่จุด 1 ได้ค่า = ... **:1;** Power =.....W

3.5 จากรูปใช้ SWR มิเตอร์วัดค่าที่จุด 2 ได้ค่า = ... **:1 ;** Power = ...W

3.6 จากรูปที่ 2 เปลี่ยนสายอากาศเป็นแบบ Yagi 3E แล้ววัดตามข้อที่ 3.4

อ่านค่าได้ ..... **:1** ; Power = ...W

3.7 ปฏิบัติตามข้อที่ 3.5 อ่านค่าได้ ..... **:1 ;** Power = ...W

4. ปัญหา

4.1 เพราะเหตุใดค่า Power จาก SWR มิเตอร์ที่วัดจากจุด 1และจุด 2 ในข้อที่ 3.4-3.5 และจาก จุด 1 และจุด 2 ในข้อที่ 3.6-3.7 จึงมีค่าไม่เท่ากัน (5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4.2 ค่า SWR คืออะไร เกิดจากสาเหตุใด (5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

4.3 ค่า SWR มีผลต่อการส่งสัญญาณอย่างไร (5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

4.4 มีวิธีการใดในการลดค่า SWR และเพิ่มกำลังวัตต์ให้จุดฟีดของสายอากาศ (5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

5. สรุปผลการทดลอง (5)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

	แบบประเมิน	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 3
	ชื่อหน่วย การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณระหว่างสายส่งสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณระหว่างสายส่งและสายอากาศ		จำนวนคาบ 4

1. กำลังประสิทธิผลในสายอากาศหมายถึงอะไร

   ก. ค่าพลังงานสูงสุดที่สายอากาศแบบไอโซทรอปิกสามารถสร้างได้

   ข. ค่าพลังงานที่มีความเข้มสูงสุดที่สายอากาศจริงสามารถสร้างได้

   ค. ค่าพลังงานที่สายอากาศจริงพยายามสร้างให้มีความเข้มเท่ากับสายอากาศแบบไอโซทรอปิก

   ง. ค่าพลังงานที่สายอากาศแบบไอโซทรอปิกใช้สร้างความเข้มของสนามให้เท่ากับสายอากาศที่ใช้งานจริง

2. สายอากาศที่มีอัตราขยายเท่ากับ 10 dB (เมื่อเทียบกับไอโซทรอปิก) จะแพร่คลื่นได้ 30 วัตต์ จงหากำลังประสิทธิผลของสายอากาศ

   ก. 100 วัตต์

   ข. 200 วัตต์

   ค. 300 วัตต์

   ง. 400 วัตต์

3. ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นมีความหมายตรงข้ามกับข้อความใดต่อไปนี้

   ก. ถ้าความต้านทานมีค่าน้อยประสิทธิภาพจะมีค่ามาก

   ข. ถ้ามีค่ามากแสดงว่าสายอากาศมีการสูญเสียในรูปของความร้อนมาก

   ค. ถ้ามีค่ามากแสดงว่าสายอากาศมีประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นมาก

   ง. ไม่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นในสายอากาศเลย

4. ถ้าสายอากาศส่งความถี่ต่ำมีความต้านการแพร่กระจายคลื่น 1 Ω และความต้านที่เกิดในสายอากาศในรูปความร้อน 2 Ω ถ้ากระแสจ่ายให้สายอากาศมีขนาด 10 แอมป์ กำลังส่งออกอากาศและกำลังจ่ายเข้ามีค่าเท่าใด

ก. 100,200 วัตต์

ข. 200,400 วัตต์

ค. 300,600 วัตต์

ง. 400,800 วัตต์

5. จากข้อ 4 ประสิทธิภาพของสายอากาศมีค่าเท่ากับเท่าใด

ก. 11.11 %

ข. 16.67 %

ค. 22.22 %

ง. 33.33 %

6. มีผู้กล่าวว่าสายอากาศที่มีอิมพีแดนซ์ 50 Ω ไม่สามารถต่อกับสายนำสัญญาณ 300 Ω ได้ นักศึกษาเห็นด้วยกับข้อใดมากที่สุด

ก. เป็นจริงเพราะค่า $Z_0 \neq Z_L$ เกิดค่า VSWR มากไม่เหมาะในการสื่อสาร

ข. เป็นจริงเพราะจะเกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณทำให้ Power เอาท์พุทร้อน

ค. ไม่เป็นจริงเพราะสามารถใช้ Stub กับ Balun มาแมทช์ระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณได้

ง. ไม่เป็นจริงเพราะความต้านทานไม่มีผลมากนักในการส่งกำลังให้สายอากาศ

7. ในการออกแบบสายอากาศเพื่อใช้งานจริงข้อใดคือเงื่อนไขในการออกแบบ

ก. ระบบสายอากาศต้องมีแถบความถี่กว้างและยอมให้มี VSWR สูงแต่ไม่เกิน 1.5:1

ข. ระบบสายอากาศต้องมีแถบความถี่แคบและยอมให้มี VSWR ต่ำ

ค. พิจารณาค่าอิมพีแดนซ์จากความยาวของสายนำสัญญาณให้แมทช์กับความถี่ใช้งาน

ง. ต้องพิจารณาทุกข้อโดยให้ความสำคัญจากข้อ ก ถึงข้อ ค ตามลำดับ

8. สายนำสัญญาณมีอิมพีแดนซ์ (Z_0) 75 Ω อินพุทอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเท่ากับ 300 Ω ค่า VSWR เป็นเท่าใด

ก. 1:1

ข. 2:1

ค. 3:1

ง. 4:1

9. ในการลดค่า VSWR ระหว่างสายนำสัญญาณและสายอากาศข้อใดเป็นวิธีแก้ปัญหาที่ง่ายที่สุด

ก. หาสายอากาศที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับสายนำสัญญาณ

ข. นำ Stub มาช่วยในการแมทช์ระหว่างสายส่งกับสายอากาศ

ค. กำหนดความถี่ให้มีค่ารีโซแนนซ์กันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ

ง. ปรับสายอากาศให้แมทช์กับสายนำสัญญาณ

10. ในการแมทช์ระหว่างสายนำสัญญาณกับสายอากาศควรเลือกความยาวของสายนำสัญญาณอย่างไร

ก. ตัดตามความจำเป็นในการใช้งาน

ข. ตัดให้มีความยาวเท่ากับจำนวนเท่าของ λ สายอากาศ

ค. ความยาวของสายนำสัญญาณต้องมีค่าเป็นจำนวนเท่าของเลขคู่ของความถี่พื้นฐาน

ง. ความยาวของสายนำสัญญาณต้องมีค่าเป็นจำนวนเท่าของเลขคี่ของความถี่พื้นฐาน

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
ใบงานที่ 3 การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณ ระหว่างสายส่งและสายอากาศ

ผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	**ระดับคะแนน**				
	ควรปรับปรุง (1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง (15 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือติดตั้งอุปกรณ์ (5)	1	2	3	4	5
1.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5)	1	2	3	4	5
1.3 เวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ (5)	1	2	3	4	5
(2) การปฏิบัติการทดลอง (15 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.3 เวลาในการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
(3) การบันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5 คะแนน)	1	2	3	4	5
(4) การบันทึกผลการทดลอง (5 คะแนน)	1	2	3	4	5
(5) การตอบคำถามท้ายการทดลอง (25 คะแนน)	5	10	15	20	25
(6) แบบประเมินหน่วยที่ 3 (10 คะแนน)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ทฤษฎี 30% คือ ..... ปฏิบัติ 70% คือ				

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

	แผนการสอน	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	**สอนครั้งที่ 4**
	ชื่อหน่วย การแมทช์ชิ่งระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การใช้ Balun และ Stub Matching		**จำนวนคาบ 4**

หัวข้อเรื่อง

ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการแมทช์โดยตรง บาลัน การแมทช์โดยใช้สายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$ การแมทช์โดยวิธีสตับ

สาระการเรียนรู้

1. การแมทช์โดยตรง
2. บาลัน
3. การแมทช์โดยใช้สายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$
4. การแมทช์โดยวิธีสตับ

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

สาระที่ 1 การแมทช์โดยตรง

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 2 บาลัน

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 3 การแมทช์โดยใช้สายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

มาตรฐานที่ 3 ติดตั้งและทดสอบคุณสมบัติสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 4 การแมทช์โดยวิธีสตับ

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

กิจกรรมการเรียนการสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นักศึกษาฟังคำอธิบายประกอบการสาธิตการทดลองใบงานที่ 4
2. นักศึกษาตั้งใจฟังคำสั่งจากครูเกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองที่สำคัญ การปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยและข้อควรระวัง
3. ครูและนักศึกษาช่วยกันสรุปขั้นตอนในการทดลองใบงานที่ 4

ขั้นปฏิบัติงาน

4. นักศึกษาแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน
5. นักศึกษาแต่ละกลุ่มทำความเข้าใจกับวัตถุประสงค์ของใบงาน และทบทวนความรู้จากใบความรู้หน่วยที่ 4
6. นักศึกษาฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงานที่ 4 ในเอกสารใบงาน
7. ครูตรวจสอบการปฏิบัติงานของนักศึกษา และให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางการปฏิบัติที่ถูกต้อง
8. ครูสังเกตการปฏิบัติงานของนักศึกษาและบันทึกลงในแบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ
9. นักศึกษาฟังการวิจารณ์ ติ ชมของครู พร้อมทั้งช่วยกันแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล และช่วยกันแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อนำไปปฏิบัติให้ถูกต้องในโอกาสต่อไป
10. นักศึกษาทำแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 4 เปลี่ยนกันตรวจ โดยดูเฉลยบนกระดานเสร็จแล้วส่งผลคะแนนให้ครู

ขั้นสรุปและการประยุกต์

11. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปบทเรียน โดยเปิดโอกาสให้ซักถามถ้ามีข้อสงสัยในเรื่องใด

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารใบความรู้หน่วยที่ 4 เรื่องการใช้ Balun และ Stub Matching
2. ใบงานที่ 4 เรื่องการใช้ Balun และ Stub Matching
3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองตามที่ระบุในใบงานที่ 4

การวัดผลและการประเมินผล

1. วิธีวัดผล

1. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 4
2. ฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงาน

2. เครื่องมือวัดผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 4
2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ

3. เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้ เกณฑ์ผ่าน ต้องตอบคำถามได้ถูกต้องไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่ง
2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ เกณฑ์ผ่าน ปานกลาง (ประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ 50% ขึ้นไป)

	ใบความรู้	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 4
	ชื่อหน่วย การแมทช์ชิ่งระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การใช้ Balun และ Stub Matching		จำนวนคาบ 4

1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 นักศึกษาสามารถอธิบายการทำงาน Balun เพื่อการแมทชิ่งสายสัญญาณได้อย่างถูกต้อง

1.2 นักศึกษาสามารถอธิบายการแมทช์สายนำสัญญาณด้วยสายนำสัญญาณยาว $\frac{\lambda}{4}$ ได้อย่างถูกต้อง

1.3 นักศึกษาสามารถอธิบายการแมทช์สายนำสัญญาณด้วยวิธี Stub ได้อย่างถูกต้อง

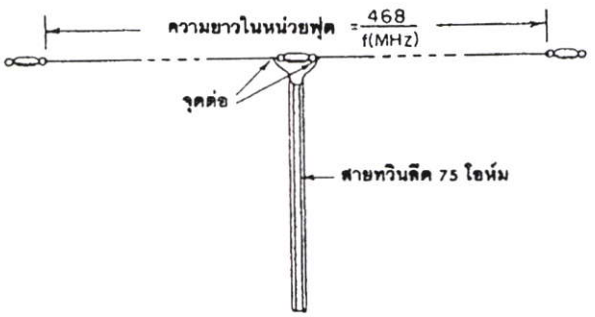
2. เนื้อหา

2.1 การแมทช์โดยตรง

การรีโซแนน์สายอากาศจุดที่ควรให้ความสนใจในการแมทช์สายอากาศ กับสายนำสัญญาณ คือ อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อต้องเป็นความต้านทานอย่างเดียวเท่านั้น หมายความว่า ระบบสายอากาศจะรีโซแนนซ์ที่ความถี่ในกรณีสายแมทช์แล้ว

จากที่ได้กล่าวมาในหน่วยต้นๆ ว่าค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศรีโซแนนซ์ ขนาด $\frac{1}{2}\ \lambda$ ที่ความสูง $\frac{1}{4}\ \lambda$ หรือมากกว่านี้ (จำนวนเท่า) มีค่าเป็นความต้านทานอย่างเดียวและมีค่าประมาณ 70 โอห์มเราสามารถนำสายนำสัญญาณแบบทวินลีด ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายเท่ากับ 75 โอห์ม ก็สามารถใช้งานได้ ถึงแม้จะเกิดค่า SWR ขนาดต่ำ

สำหรับหลักการเกี่ยวข้องกับค่า SWR กับสายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียล เหมือนกับแบบทวินลีด แต่ส่วนที่แตกต่างกันระหว่างทั้งสองกรณี คือ สายแบบทวินลีดเป็นสายที่มีความสมดุลทางไฟฟ้าอยู่ ส่วนสายโคแอกเชียลไม่สมดุลทางไฟฟ้า กล่าวอย่างละเอียด คือ ในกรณีต่อกับสายโคแอกเชียลด้านนอกของตัวนำชั้นนอกไม่ได้ต่อกับสายอากาศผิดกับตัวนำชั้นใน และด้านในของตัวนำชั้นนอกที่ต่อโดยตรงอยู่มีผลลัพธ์กระแสบางส่วนไหลบนด้านนอกนี้ เป็นการสูญเสียอย่างหนึ่ง ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของสายนำสัญญาณมีขนาดเล็กมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของสายอากาศและใช้ในย่านความถี่วิทยุสมัครเล่นช่วงความถี่ต่ำแล้ว ผลจากความไม่สมดุลทางไฟฟ้านี้สามารถละทิ้งไม่คิดได้ เพราะมีขนาดน้อยมาก แต่ในย่านความถี่ VHF และ UHF จะมีผลอย่างมาก

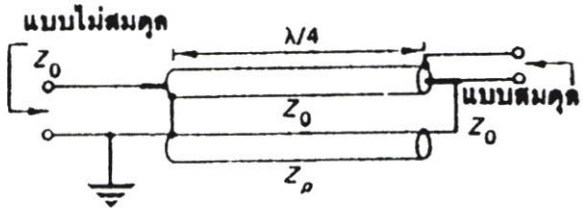


รูปที่ ข4.1แสดงการต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศโดยตรง

2.2 บาลัน (BALUN)

ในย่านความถี่สูง วิธีต่อโดยตรงระหว่างสายที่มีความสมดุล (ทางไฟฟ้า) กับสายที่ไม่มีความสมดุล มีผลทำให้เกิดสูญเสียพลังงานที่แพร่ออกมา หรือเกิดการแทรกจากสัญญาณรบกวนภายนอก ได้บาลันจัดเป็นวงจรที่ใช้เชื่อมต่อสายแบบสมดุลกับแบบไม่สมดุล โดยไม่มีผลกระทบใด ๆ

สำหรับย่านความถี่คลื่นวิทยุ ถ้าใช้กำลังไฟฟ้าจนถึง 5 kW หรือความถี่จนถึง 30 MHz จะใช้บาลันได้ พิจารณารูป



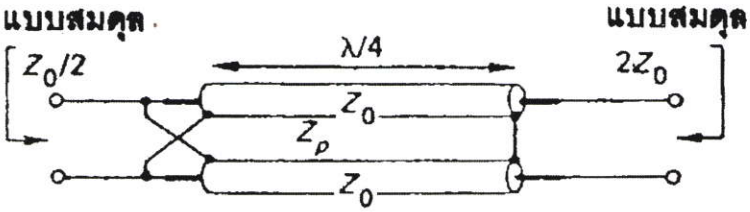
รูปที่ ข4.2 แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 1 : 1

จากรูปปลายบาลันด้านแบบไม่สมดุล ตัวนำชั้นนอกของโคแอกเชียลต่อตรงกับตัวนำแท่งกลม (ตัวล่าง) ซึ่งตัวนำล่างนี้มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวนำเท่ากับ Z_p ทั้งสองมีความยาวขนาด $\frac{1}{4}$ λ ดังนั้น ถ้าพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ที่มองเข้ามาทางขวามือของบาลันมีค่าเท่ากับ Z^2_p / ϕ หรือเป็นวงจรเปิดนั่นเอง

ส่วนปลายบาลันด้านสมดุล ตัวนำเส้นหนึ่งต่อกับชั้นนอกของโคแอกเชียลและอีกเส้นต่อกับ

ชั้นในของโคแอกเชียลรวมถึงตัวนำแท่งกลมด้วย (ไม่มีการต่อกราวด์ในด้านนี้)

โดยทั่วไป สายแบบไม่สมดุลมีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายในช่าง 50 – 75 โอห์ม ในขณะที่สายแบบสมดุล(ทวินลีด) มีค่าเป็นร้อยโอห์ม จึงมีความจำเป็นที่ต้องปรับขนาดอิมพีแดนซ์ของสายให้เข้ากันได้



รูปที่ ข4.3 แสดงบาลันแบบอัตรส่วนอิมพีแดนซ์ 4 : 1

จากรูปเราใช้สายโคแอกเชียล 2 เส้นโดยด้านซ้ายมือมีการต่อตัวนำกับด้านนอกของสายโคแอกเชียลในลักษณะขนานกัน และด้านขวามือมีการต่อตัวนำกับด้านนอกของสายโคแอกเชียลในลักษณะอนุกรมกัน ถ้าค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายของแต่ละเส้นมีค่าเท่ากัน คือ Z_0 โอห์ม จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่คร่อมจุดต่อด้านขวามือเท่ากับ 2 Z_0 โอห์มและค่าอิมพีแดนซ์ที่คร่อมจุดต่อด้านซ้ายมือ เท่ากับ Z_0 /2 โอห์ม ตัวอย่างเช่น ขนาด 300 โอห์ม สามารถปรับให้เหลือ 75 โอห์มได้

2.3 การแมทช์โดยใช้สายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$

สายนำสัญญาณขนาดยาว $\lambda/4$ มีความสำคัญมากในการปรับค่าอิมพีแดนซ์ โดยกำหนดหาอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายขนาด $\lambda/4$ เป็นสมการได้ดังนี้

$$Z_{in} = Z_0^2 / Z_L \quad \text{โอห์ม}$$

โดย Z_{in} แทนค่าอิมพีแดนซ์ด้านอินพุทของสายนำสัญญาณ

Z_0 แทนค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย

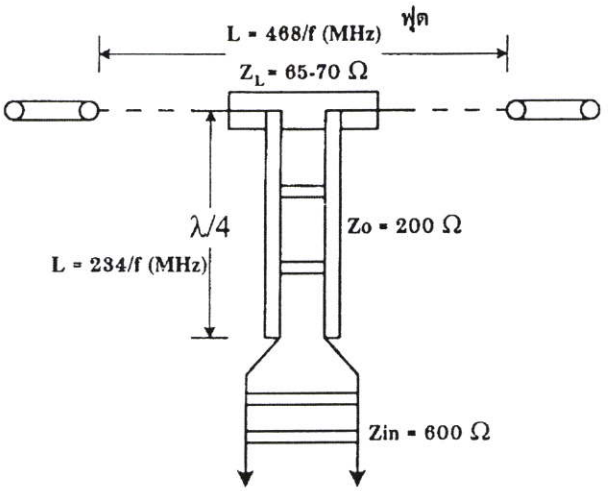
Z_L แทนค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดที่ปลายสาย

หรือเขียนได้ในรูปสมการว่า

$$Z_0 = \sqrt{Z_L Z_{in}} \quad \text{โอห์ม}$$

การประยุกต์ใช้งานที่เห็นได้ทั่วไปของสายยาว $\lambda/4$ นี้คือ การแมทช์สายนำสัญญาณกับ

โหลดที่มีค่าไม่เท่ากับ Z_0 พิจารณาตัวอย่างในรูป ข4.4

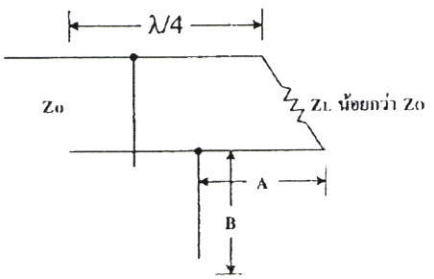


รูปที่ ข4.4 แสดงตัวอย่างการใช้สายยาว λ/ 4

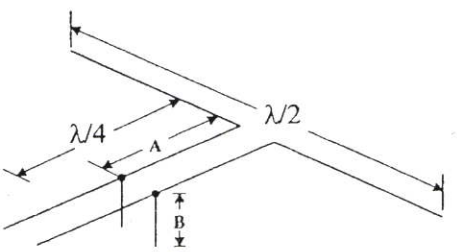
จากรูปถ้าเราต่อเข้าหากันโดยตรงกับโหลด จะเกิดการสะท้อนกลับของคลื่นขึ้น และเกิดค่า SWR ในสาย ดังนั้นจึงแก้ไขโดยปรับค่าโหลดให้เท่ากับ 600 โอห์มก่อน โดยใช้สายยาว λ/ 4 ต่อเชื่อมเหมือนในรูปนั่นคือ ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของส่วน λ/ 4 เท่ากับ 600 โอห์มด้วย จึงคำนวณหาค่า Z_0 ได้เท่ากับ $\sqrt{600 \times 65.70}$ = 198.544 โอห์ม

2.4 การแมทช์โดยวิธีสตับ

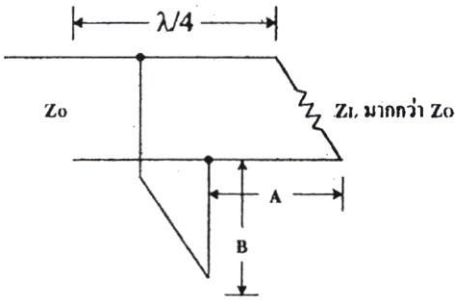
มีการแมทช์สายอีกวิธี เรียกว่า สตับ ลองพิจารณาจากรูป



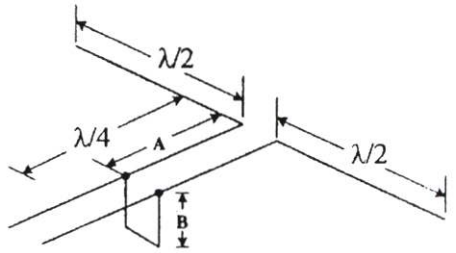
(ก) แบบเปิด



(ข) แบบเปิด



(ค) แบบปิด

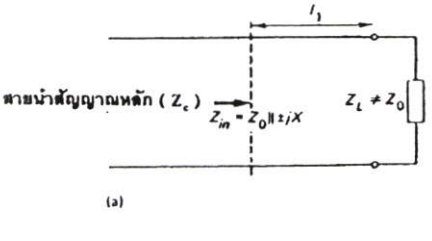


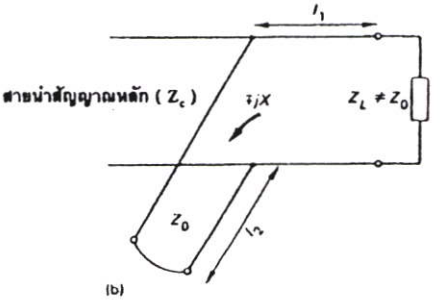
(ง) แบบปิด

รูปที่ ข4.5 แสดงการต่อสตับเบื้องต้นของสายอากาศ

พิจารณาสายขนาด $\lambda/4$ พบว่าปลายด้านซ้ายมือลัดวงจรอยู่ และปลายด้านขวามือต่อกับโหลดขนาด Z_L ค่าอิมพีแดนซ์บนสาย $\lambda/4$ จะเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างจากโหลด ซึ่งมีค่าตั้งแต่ Z_L ถึงศูนย์และ ณ จุดหนึ่งจะมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำสายของสายนำสัญญาณหลัก ถ้ามีการต่อสายนำสัญญาณเข้าที่ ณ จุดนี้ ถือว่าการแมทช์เกิดขึ้น พอมองเห็นได้ว่า สายสตับ คือ ส่วนความยาวของสายด้านที่ลัดวงจรและค่าความยาวนี้มีผลต่ออินพุทรีแอ็กแดนซ์ด้วย โดยถ้าความยาวทางไฟฟ้าของสตับน้อยกว่าขนาด $\lambda/4$ ทำให้อินพุทรีแอ็กแดนซ์เป็นค่าความเหนียวนำ (INDUCTIVE) หรือความยาวทางไฟฟ้าของสตับมากกว่าขนาด $\lambda/4$ ทำให้อินพุทรีแอ็กแดนซ์เป็นค่าประจุไฟฟ้า (CAPACITIVE)

ค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ไม่แมทช์กัน จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างจากโหลดบางกรณีค่าอิมพีแดนซ์อาจมากกว่าค่า Z_0 ของสายหรือน้อยกว่าก็เป็นได้สมมุติให้ที่ระยะห่าง l_1 จากโหลด (Z_L) ค่าอิมพีแดนซ์ ณ จุดนั้นมีค่าผลรวมระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย (Z_0) ขนานกับบางส่วนของรีแอ็กแดนซ์ ($\pm jx$) ดังแสดงในรูป ข4.6 (a)

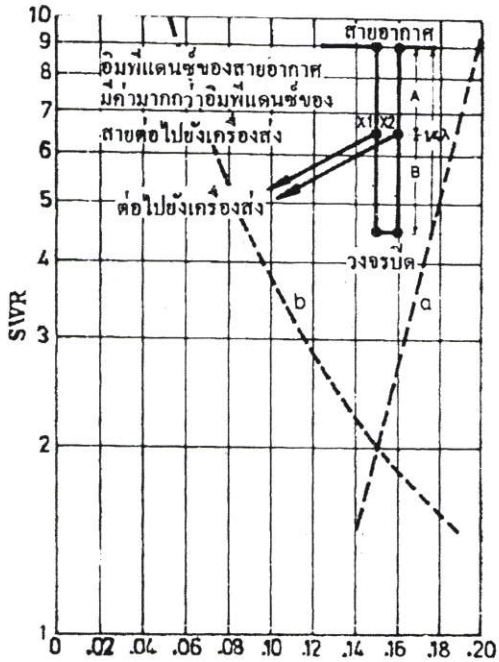




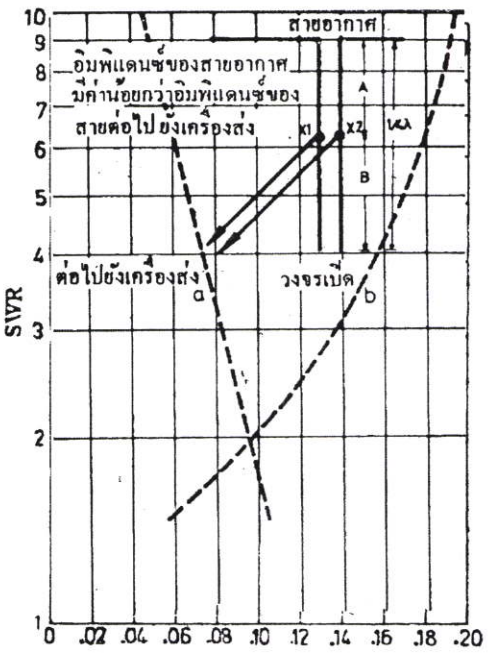
(a) แสดงค่าอิมพีแดนซ์ที่ระยะห่าง l_1 จากโหลด

(b) ใช้สตับขนาดยาว l_2

จากรูป ข4.6 (b) มีการต่อสตับคร่อม ณ จุด l_1 โดยความยาวของสตับเท่ากับ l_2 ซึ่งมีค่าอินพุทรีแอ็กแดนซ์ขนาดเท่ากัน แต่เครื่องหมายตรงข้ามกัน ($\pm jx$) ซึ่งจะเกิดหักล้างค่ารีแอ็กแดนซ์ทั้งสองหมดเป็นศูนย์ เหลือเฉพาะค่า Z_0 เท่านั้น จึงเกิดการแมทช์ขึ้น



รูปที่ ข4.7 แสดงการหาความยาวสตับไปยังเครื่องส่งวงจรปิด



รูปที่ ข4.8 แสดงการหาความยาวสตับไปยังเครื่องวงจรเปิด

วิธีการใช้กราฟ

1. หาค่า SWR ของสายด้วยวิธีการคำนวณการไม่แมทช์ของสาย ซึ่งอาจจะหาจากวิธีการวัดด้วย Two way Wattmeter หรือ SWR มิเตอร์ก็ได้

2. ถ้าหากว่าโหลดมีค่าความต้านทานสูงกว่าอิมพิแดนซ์ของสายที่ใช้สตับ จะใช้สตับชนิดลัดวงจรดังแสดงในกราฟรูปที่ ข4.7

3. ถ้าหากว่าโหลดมีค่าความต้านทานน้อยกว่าค่าความต้านทานของสายที่ใช้สตับให้ใช้กราฟในรูปที่ ข4.8

4. จากค่า SWR ที่รู้ค่าให้เลือกค่า A บนกราฟ

5. จากค่า SWR คำนวณหาค่าความยาว B จากกราฟ

6. คำนวณหาค่า A เป็นฟุตได้จากสูตร

$$A = \frac{984 \times V_C \times a}{f}$$

เมื่อ f มีหน่วยเป็น (MHz)

7. คำนวณหาค่า B เป็นฟุตได้จากสูตร

$$B = \frac{984 \times V_C \times b}{f}$$

เมื่อ f มีหน่วยเป็น (MHz)

	ใบงาน	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	**สอนครั้งที่ 4**
	ชื่อหน่วย การแมทชิ่งระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การใช้ Stub Matching		**จำนวนคาบ 4**

1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 นักศึกษาสามารถต่อสาย Stub ทั้งแบบปลายปิดและปลายเปิดได้อย่างถูกต้องตามเวลาที่กำหนด (30 นาที)

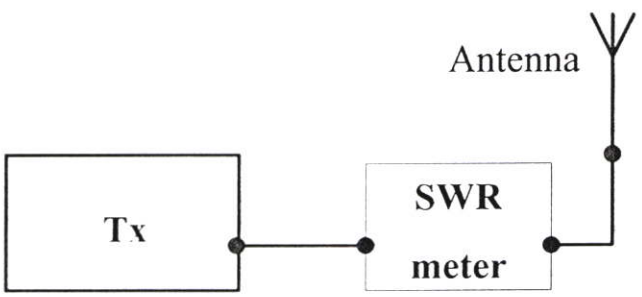
1.2 นักศึกษาสามารถอธิบายการทำงานของ Stub ที่ใช้ในการแมทชิ่งสัญญาณได้ถูกต้อง

1.3 นักศึกษาสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และแก้ปัญหาร่วมกันได้

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

2.1	เครื่องส่งวิทยุความถี่ย่าน VHF	1	เครื่อง
2.2	SWR มิเตอร์	1	เครื่อง
2.3	สายนำสัญญาณ RG58 A/U	1	เส้น
2.4	สายอากาศแบบ Yagi ย่าน VHF	1	แผง (พร้อมขาตั้ง)
2.5	สาย Stub แบบปลายปิดและปลายเปิด อย่างละ	1	เส้น

3. ลำดับขั้นการปฏิบัติงาน



3.1 บันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงานจากการสาธิตของผู้สอน (5)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

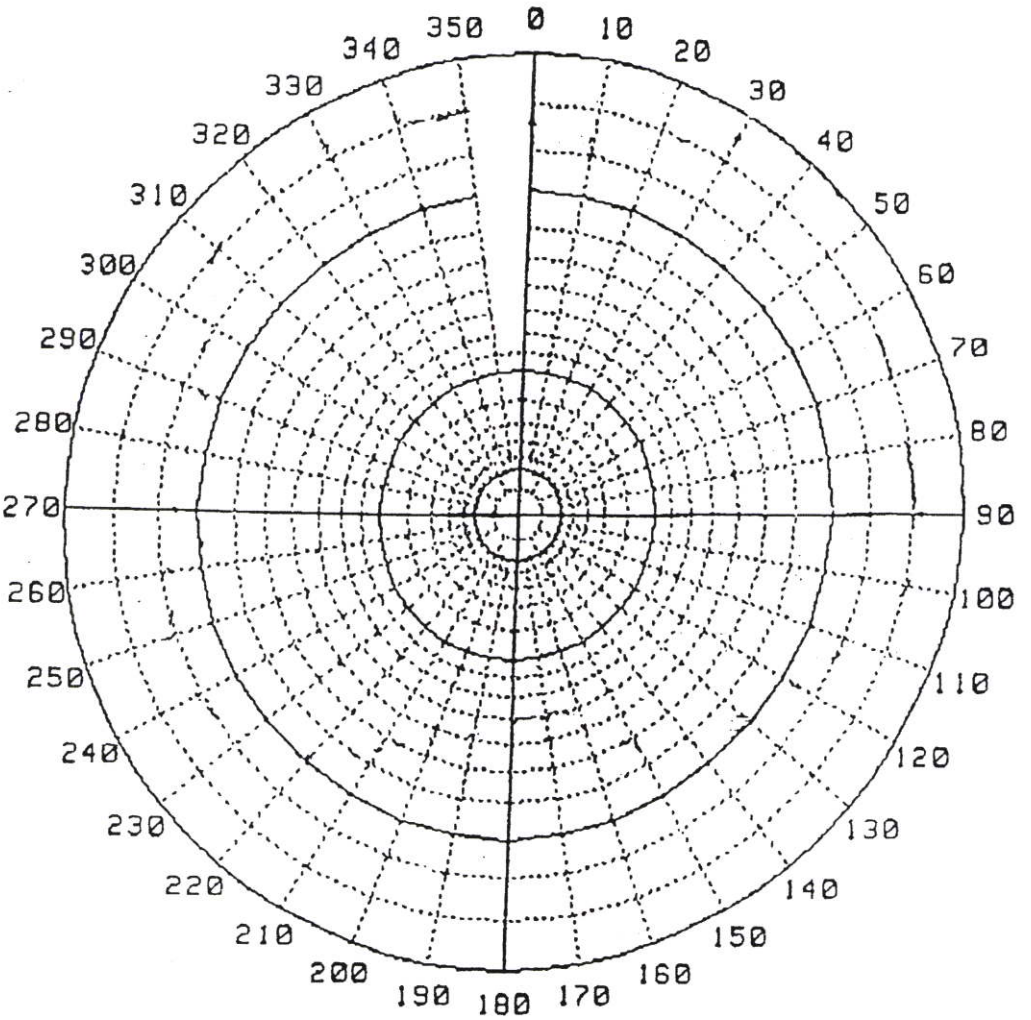
3.2 ต่ออุปกรณ์ตามรูป 1 ทดลองวัดหาค่า SWR ด้วย SWR มิเตอร์อ่านค่าได้ ..... **:1**

3.3 จากรูปต่อ Stub หมายเลข 1 แบบปลายปิด เข้าที่จุด 1 แล้วใช้ SWR มิเตอร์วัดค่า SWR ปรับเลื่อน Stub จนอ่านได้ค่าน้อยที่สุด มีค่า ..... **:1** วัดระยะ A เท่ากับ..... ,B เท่ากับ.....

3.4 ต่ออุปกรณ์ตามรูป 1 เปลี่ยน Stub เป็นหมายเลข ...2..... (Stub ปลายเปิด) ทดลองตามข้อที่ 3.3 อ่านค่าจาก SWR มิเตอร์ได้ ..... **:1** วัดระยะA เท่ากับ..... , B เท่ากับ.....

3.5 หา Pattern ของสายอากาศโดยการนำค่าที่ได้จากการบันทึกตารางมา Plot ลงกราฟ (10)

องศา	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Gainการรับ												
องศา	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
Gainการรับ												
องศา	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360
Gainการรับ												



4. ปัญหา

4.1 ทำไม Stub จึงช่วยทำให้ค่า SWR ในสายส่งลดลงได้ (5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4.2 ระยะ A และระยะ B หาได้จากอะไร (5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. สรุปผลการทดลอง (5)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

	แบบประเมิน	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 4
	ชื่อหน่วย การแมทชิ่งระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การใช้ Balun และ Stub Matching		จำนวนคาบ 4

1. จุดประสงค์หลักของการแมทช์สายอากาศกับสายนำสัญญาณคือข้อใด

   ก. ให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งมีค่าเท่ากับสายอากาศ

   ข. อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อเป็นค่า $R - jx_c$

   ค. ให้สายอากาศอยู่ในสภาวะที่เป็นรีโซแนนซ์ที่ใช้งาน

   ง. อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อเป็นค่า $R + jx_L$

2. การนำสายสัญญาณแบบบาลันต่อกับสายนำสัญญาณแบบไม่บาลันโดยตรงจะเกิดปัญหาตามข้อใด

   ก. การสะท้อนกลับของสัญญาณ

   ข. การลดทอนระหว่างรอยต่อของสายนำสัญญาณ

   ค. การแทรกของสัญญาณรบกวนจากภายนอก

   ง. การผิดเพี้ยนของสัญญาณ

3. การทำบาลันแบบครึ่งคลื่นชนิด 4:1 ให้สายอากาศชนิดโพลเดดไดโพลใช้สายนำสัญญาณชนิดใด

   ก. สายทวีนลีด 300 Ω

   ข. สายริบบอน 300 Ω

   ค. สายโคแอกเชียล 75 Ω

   ง. สายโคแอกเชียล 50 Ω

4. ถ้าสายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ 300 Ω สายนำสัญญาณมีอิมพีแดนซ์ 75 Ω ต้องนำบาลันที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่าใดมาต่อ

ก. 50 Ω

ข. 75 Ω

ค. 150 Ω

ง. 300 Ω

5. จากข้อ 4 ถ้าต้องการส่งคลื่นความถี่ 150 MHz ต้องใช้บาลันมีความยาวเท่าใด

ก. 1.16 ฟุต

ข. 2.16 ฟุต

ค. 3.12 ฟุต

ง. 4.12 ฟุต

6. ข้อเสียของการแมทช์ด้วยสายนำสัญญาณยาว $\frac{\lambda}{4}$ คือข้อใด

ก. ตอบสนองความถี่ได้ในช่วงแคบๆ เท่านั้น

ข. มีความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา

ค. ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนตามความถี่ที่ใช้

ง. ใช้กับความถี่ได้ไม่เกิน 30 MHz

7. เราใช้เกณฑ์ตามข้อใดในการเลือกใช้สตับแบบปลายเปิดและแบบปลายปิด

ก. ถ้า Z_L มีค่ามากกว่า Z_O ใช้สตับแบบปลายปิด

ข. ถ้า Z_L มีค่าน้อยกว่า Z_O ใช้สตับแบบปลายปิด

ค. ถ้า Z_O มีค่ามากกว่า Z_L ใช้สตับแบบปลายปิด

ง. ถ้า Z_L มีค่าเท่ากับ Z_O ใช้สตับแบบใดก็ได้

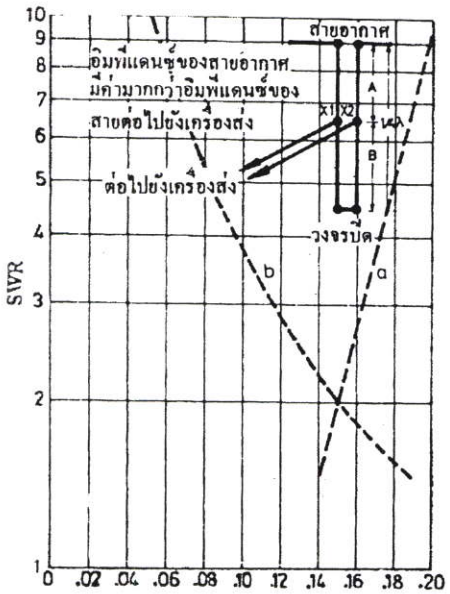
8. ในการใช้สตับแบบปลายปิด ถ้าสายสตับยาวกว่า $\frac{\lambda}{4}$ อินพุทอิมพีแดนซ์จะมีสภาวะเป็นเช่นใด

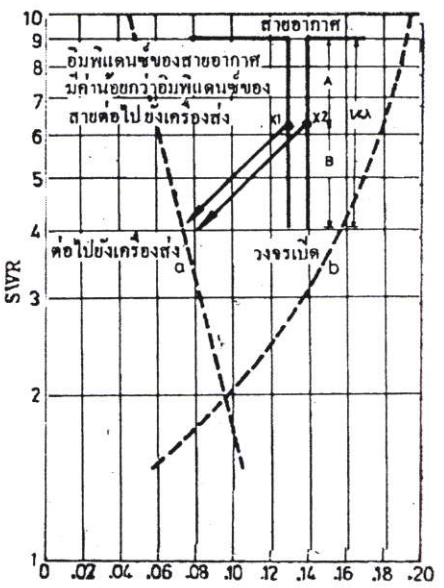
ก. เป็น C

ข. เป็น L

ค. รีโซแนนซ์ LC ขนาน

ง. รีโซแนนซ์ LC อนุกรม





9. จากกราฟ โหลดมีอิมพีแดนซ์ 300 Ω สายสตับมีอิมพีแดนซ์ 75 Ωเมื่อนำไปทดสอบด้วย SWR มิเตอร์ มีค่าเท่ากับ 4 ระยะ A มีความยาวเท่าใด (f = 150 MHz,0.66)

ก. 0.245 ฟุต

ข. 0.303 ฟุต

ค. 0.788 ฟุต

ง. 0.850 ฟุต

10. จากข้อ 9 ระยะ B มีค่าเท่าใด

ก. 0.649 ฟุต

ข. 0.782 ฟุต

ค. 0.872 ฟุต

ง. 1.321 ฟุต

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ใบงานที่ 4 การใช้ Stub Matching

ผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	ระดับคะแนน				
	ควรปรับปรุง (1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง (15 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือติดตั้งอุปกรณ์ (5)	1	2	3	4	5
1.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5)	1	2	3	4	5
1.3 เวลาที่ใช้ในการติดตั้ง (5)	1	2	3	4	5
(2) การปฏิบัติการทดลอง (15 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.3 เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
(3) การบันทึกการปฏิบัติการทดลอง (5 คะแนน)	1	2	3	4	5
(4) การบันทึกผลการทดลอง (15 คะแนน)	3	6	9	12	15
(5) การตอบคำถามท้ายการทดลอง (15 คะแนน)	3	6	9	12	15
(6) แบบประเมินหน่วยที่ 4 (10 คะแนน)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ภาคทฤษฎี 30 % คือ..... ภาคปฏิบัติ 70 % คือ.....				

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

	แผนการสอน	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วย การแมทชิ่งระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การแมทช์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณ		จำนวนคาบ 4

หัวข้อเรื่อง

ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับวิธีแมทช์รูปตัวที วิธีแมทช์แบบแกมม่า วิธีแมทช์แบบโอเมก้า หลักการเบื้องต้นของการ Stack สายอากาศ จัดทำสาย Phasing Line เพื่อ Stacking สายอากาศ หา Pattern ของสายอากาศที่ทำการ Stacking

สาระการเรียนรู้

1. วิธีแมทช์รูปตัวที
2. วิธีแมทช์แบบแกมม่า
3. วิธีแมทช์แบบโอเมก้า
4. จัดทำสาย Phasing Line เพื่อ Stacking สายอากาศ

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

สาระที่ 1 วิธีแมทช์รูปตัวที

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 2 วิธีแมทช์แบบแกมม่า

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 3 วิธีแมทช์แบบโอเมก้า

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

มาตรฐานที่ 3 ติดตั้งและทดสอบคุณสมบัติสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 1 หลักการเบื้องต้นของการ Stack สายอากาศ

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 2 จัดทำสาย Phasing Line เพื่อ Stacking สายอากาศ

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

กิจกรรมการเรียนการสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นักศึกษาฟังคำอธิบายประกอบการสาธิตการทดลองใบงานที่ 5
2. นักศึกษาตั้งใจฟังคำสั่งจากครูเกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองที่สำคัญ การปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยและข้อควรระวัง
3. ครูและนักศึกษาช่วยกันสรุปขั้นตอนในการทดลองใบงานที่ 5

ขั้นปฏิบัติงาน

4. นักศึกษาแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน
5. นักศึกษาแต่ละกลุ่มทำความเข้าใจกับวัตถุประสงค์ของใบงาน และทบทวนความรู้จากใบความรู้หน่วยที่ 5
6. นักศึกษาฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงานที่ 5 ในเอกสารใบงาน
7. ครูตรวจสอบการปฏิบัติงานของนักศึกษา และให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางการปฏิบัติที่ถูกต้อง
8. ครูสังเกตการปฏิบัติงานของนักศึกษาและบันทึกลงในแบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ
9. นักศึกษาฟังการวิจารณ์ ติ ชมของครู พร้อมทั้งช่วยกันแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผลและช่วยกันแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อนำไปปฏิบัติให้ถูกต้องในโอกาสต่อไป
10. นักศึกษาทำแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 5 เปลี่ยนกันตรวจ โดยดูเฉลยบนกระดานเสร็จแล้วส่งผลคะแนนให้ครู

ขั้นสรุปและการประยุกต์

11. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปบทเรียน โดยเปิดโอกาสให้ซักถามถ้ามีข้อสงสัยในเรื่องใด

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารใบความรู้หน่วยที่ 5 เรื่องการแมทช์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณ
2. ใบงานที่ 5 เรื่องการแมทช์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณ

3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองตามที่ระบุในใบงานที่ 5

การวัดผลและการประเมินผล

1. วิธีวัดผล

1. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 5
2. ฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงาน

2. เครื่องมือวัดผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 5
2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ

3. เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้ เกณฑ์ผ่าน ต้องตอบคำถามได้ถูกต้องไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่ง
2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ เกณฑ์ผ่าน ปานกลาง (ประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ 50% ขึ้นไป)

	ใบความรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วย การแมทชิ่งระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การแมทช์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณ		จำนวนคาบ 4

1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 นักศึกษาสามารถออกแบบสายอากาศด้วยวิธีการแมทช์แบบตัวทีได้อย่างถูกต้อง

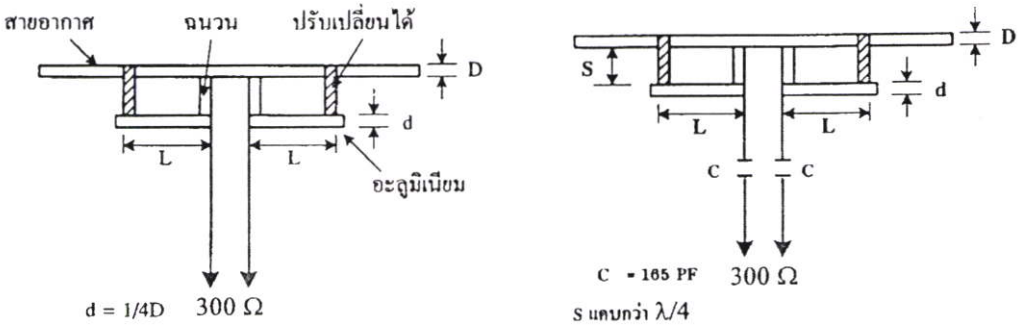
1.2 นักศึกษาสามารถออกแบบสายอากาศด้วยวิธีการแมทช์แบบแกมม่าได้อย่างถูกต้อง

1.3 นักศึกษาสามารถบอกถึงรูปแบบการแมทช์สายอากาศแบบต่างๆได้อย่างถูกต้อง

2. เนื้อหา

2.1 วิธีแมทช์รูปตัวที (T)

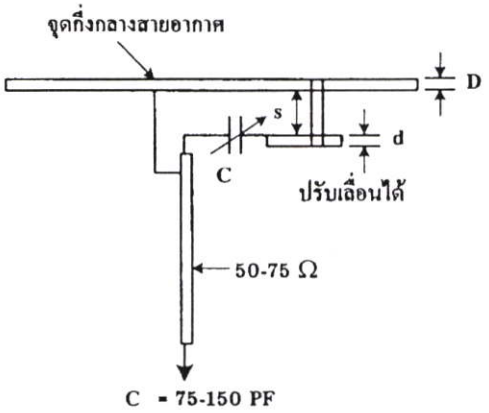
แสดงการแมทช์แบบตัวทีในรูป 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงการแมทช์โดยวิธีรูปตัวที (ใช้กับสายอากาศแบบ $\lambda/2$ และสายนำสัญญาณขนาด 600 โอห์ม)

จากรูปมีส่วนคล้ายกับไดโพลแบบห่วง (FOLD DIPOLE) เพราะถ้าเราเพิ่มความยาวของ L ให้เท่ากับสายอากาศก็เป็นไดโพลแบบห่วงได้วิธีแมทช์รูปตัวทีจัดว่ามีความยืดหยุ่นในการปรับค่าอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ได้ดี และง่ายต่อการสร้างด้วย เหมาะที่ใช้กับสายแบบเส้นคู่หรือทวินลีดได้ (แบบสมดุล) ส่วนกรณีโคแอกเชียลต้องใช้อุปกรณ์บาลันร่วมในการติดตั้ง หรือใช้วิธีแมทช์แบบแกมม่าได้ (อธิบายวิธีนี้ในตอนต่อไป) ที่เหมาะกับสายแบบไม่สมดุล

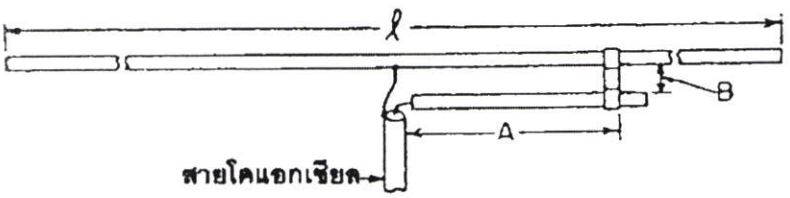
กระแสไฟฟ้าที่ไหล ณ จุดต่อของรูป T ประกอบด้วยกระแสจากสายอากาศที่มาถึง ตัวแพร่คลื่นนี้กับตัวนำรูป T โดยมีค่าขึ้นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ และระยะห่างระหว่างทั้งสอง เราอาจพิจารณาส่วนตัวนำกับสายอากาศที่ต่อไปเป็นรูปห่วงว่าเป็นส่วนลัดวงจรของปลายสายนำสัญญาณได้ และเนื่องจากการแมทช์รูปตัว T นี้ความยาวของห่วงมีค่าน้อยกว่า $\lambda/4$ ทำให้เกิดค่ารีแอ็กแดนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้นซึ่งถ้าสายอากาศเกิดรีโซแนนซ์ที่มีความถี่ใช้งานค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของ T จะมีทั้งความต้านทาน และค่ารีแอ็กแดนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้น เราต้องกำจัดค่ารีแอ็กแดนซ์นี้ให้หมดไป เพื่อเกิดผลการแมทช์ที่ดีกับสายนำสัญญาณ วิธีที่ทำ คือ ลดขนาดสายอากาศให้เกิดค่ารีแอ็กแดนซ์เชิงประจุไฟฟ้า เพื่อนำไปหักล้างกันจนหมด หรืออีกวิธีคือ ต่อตัวเก็บประจุอนุกรมกับจุดต่ออินพุท ดังแสดงในรูป 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงการต่อตัวเก็บประจำอนุกรมเพื่อปรับค่ารีโซแนนซ์

2.2 **วิธีแมทช์แบบแกมม่า**

พิจารณารูป 5.3

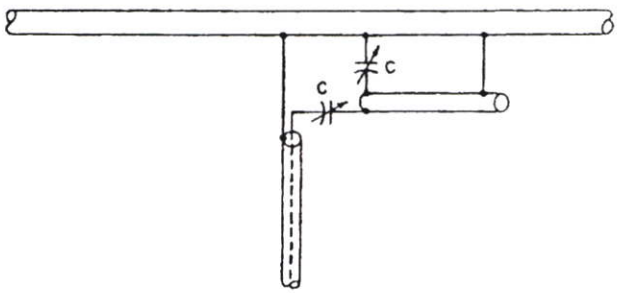


รูปที่ 5.3 แสดงวิธีแม็ชท์แบบแกมม่าโดยใช้สายโคแอกเชียล ขนาด 52 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม

วิธีแกมม่าใช้หลักการเดียวกับวิธีรูปตัวที แต่มีเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้นเหมาะที่ใช้กับสายแบบไม่สมดุล เช่น สายโคแอกเชียล เป็นต้นวิธีกำจัดค่ารีแอ็กแดนซ์ก็เช่นเดียวกันคือ ลดขนาดสายอากาศ หรือตัวต่อเก็บประจุอนุกรมลงไป

2.3 วิธีแม็ชท์แบบโอเมก้า

วิธีนี้มีการปรับปรุงเพิ่มขึ้นจากวิธีแบบแกมม่า โดยใช้ตัวเก็บประจุต่อทั้งขนานและอนุกรม เพื่อกำจัดค่ารีแอ็กแดนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าให้หมดไป ดังแสดงในรูป 5.4

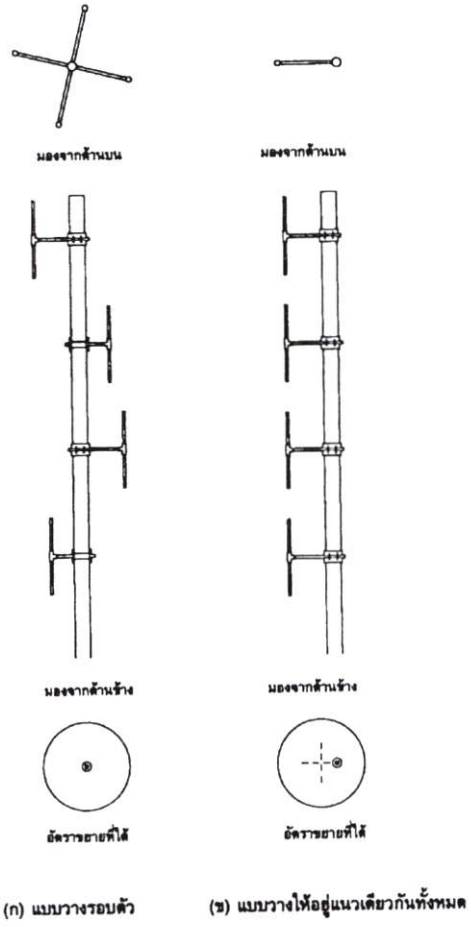


รูปที่ 5.4 แสดงวิธีแมทช์แบบโอเมก้า

จากรูป C_1 เป็นตัวเก็บประจุอนุกรมที่มีอยู่แต่เดิม

C_2 เป็นตัวเก็บประจุที่เพิ่มขึ้นมา

2.4 การ Stack สายอากาศ



รูปที่ ข5.5 แสดงวิธีการจัดวางไดโพล 2 แบบที่นิยมกันสำหรับสแต็ก

การนำสายอากาศพื้นฐานมาต่อขนานกันหรือนิยมเรียกว่านำมาสแต็กกันจะลดผลของสายนำสัญญาณที่มีต่อการทำงานของสายอากาศไปได้มาก ปรับแต่งได้ง่าย และสามารถเดาอัตราขยายที่ได้ค่อนข้างแม่นยำ เช่น เมื่อนำสายอากาศพื้นฐาน 2 ต้นมาสแต็กกันเป็นแบบที่นิยม เรียกว่า 2 สแต็ก ก็จะได้อัตราขยายกำลังไฟฟ้ารวมเป็นประมาณ 2 เท่า ของต้นเดียว (หรือได้อัตราขยายเพิ่มขึ้นจากเดิมอีกประมาณ 3 dB) ถ้านำมาทำเป็น 3 สแต็ก ก็จะได้อัตราขยายกำลังไฟฟ้ารวมเป็นประมาณ 3 เท่า ของต้นเดียว (หรือได้อัตราขยายเพิ่มขึ้นจากเดิมอีกประมาณ 4.8 dB) และที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ไม่ว่าจะกี่สแต็กก็ตาม ขนาดและรูปร่างของสายอากาศพื้นฐานยังคงเป็นเช่นเดิม ทำให้ง่ายแก่การทดลองสร้างขึ้นใช้เอง จากรูปแสดงตัวอย่างวิธีการจัดวางไดโพล 2 แบบที่นิยมกันแบบแรกเป็นการจัดวางไดโพลให้หันหน้าออกไปรอบๆ ตัวจริงในรูป (ก) เป็นแบบ 4 สแต็กก็แบ่งมุม(เมื่อมองดูจากด้านบน) 360^0 ออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน ดังนั้นไดโพลจะหันหน้าทำมุมกัน 90^0 เรียงกันไปรอบเสากลาง อัตราขยายในทุกทิศทุกทางเท่ากันประมาณ 6 dB_d ในทางปฏิบัติแล้วการติดตั้งวิธีนี้จะทำให้สัญญาณที่ไดโพลแต่

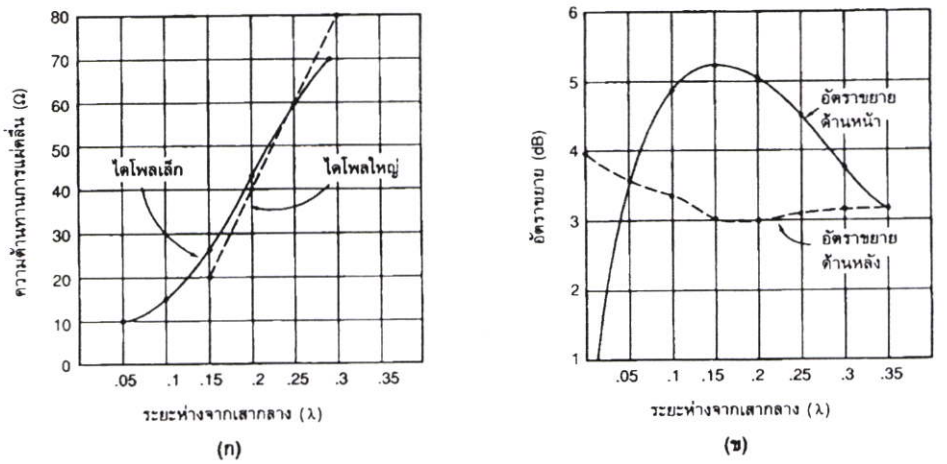
ละตัวรับได้มีขนาดไม่เท่ากัน และมีเฟสไม่ตรงกันทีเดียวจึงมีการหักล้างและการเสริมกันแล้วแต่ระยะห่างและทิศทางของคู่สถานี

แบบที่สองเป็นการวางไดโพลในแนวดิ่งเดียวกันทั้งหมด การติดตั้งวิธีนี้ทำให้อัตราขยายด้านหน้า (ด้านที่ไดโพลหันหน้าไปหา) มากกว่าด้านหลังประมาณ 3 dB แต่รูปแบบการกระจาย/รับคลื่นในแนวราบก็ยังคงเป็นวงกลมแต่จุดศูนย์กลางเหลื่อม (off set) ไปทางด้านหน้าดังแสดงในรูป (ข) ทำให้อัตราขยายด้านหน้าเพิ่มเป็นประมาณ 9 dB_i แต่ด้านหลังก็ลดลงเล็กน้อย

2.5 หลักการเบื้องต้นที่ควรรู้จัก

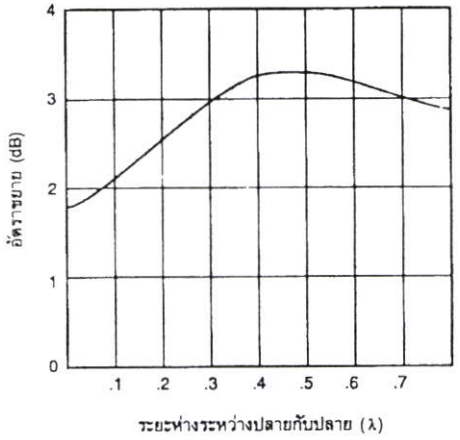
ผลของเสากลาง ในการนำเอาสายอากาศไดโพลมาสแต็กกันในแนวดิ่งและยึดติดเข้ากับเสากลางนั้น เราสามารถใช้ผลการทดลองเกี่ยวกับสายอากาศ Yagi มาใช้งานได้ ทั้งนี้เพราะเสากลางทำหน้าที่คล้ายรีเฟลกเตอร์ และไดโพลทำหน้าที่คล้ายดริเว่นอีลีเมนต์ รูปที่ ข5.6 แสดงผลการทดลองดังกล่าว จากกราฟในรูปที่ ข5.6 (ก) จะเห็นว่าเมื่อนำเอาไดโพลตัวหนึ่งมาวางห่างจากเสากลางประมาณ 0.22 λ (วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางของไดโพลถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของเสากลาง) ค่าความต้านทานการแผ่คลื่น หรืออิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่รีโซแนนซ์จะเป็น 50 โอห์ม

ส่วนกราฟในรูปที่ ข5.6 (ข) แสดงผลของระยะห่างระหว่างไดโพลและเสากลางที่มีต่ออัตราขยายในทิศด้านหน้าและด้านหลังจะเห็นได้ว่า ที่ค่าระยะห่างน้อยกว่า 0.1 λ อัตราขยายด้านหน้าจะตกลงอย่างรวดเร็ว ในทางปฏิบัติแล้วเราจึงมักจะวางไดโพลให้ห่างจากเสากลางไม่น้อยกว่า 0.1 λ (และมักจะไม่ต่ำกว่า 0.15 λ สำหรับไดโพลขนาดใหญ่) ยิ่งห่างมากยิ่งดี เพราะแถบความถี่จะกว้างขึ้น แต่ก็ไม่ควรห่างเกินกว่า 0.25 λ ซึ่งอัตราขยายด้านหน้าเริ่มตกลงมามาก



รูปที่ ข5.6 แสดงผลการทดลองนำเอาไดโพลตัวเดียวมาวางห่างเสากลางที่ระยะต่างๆ

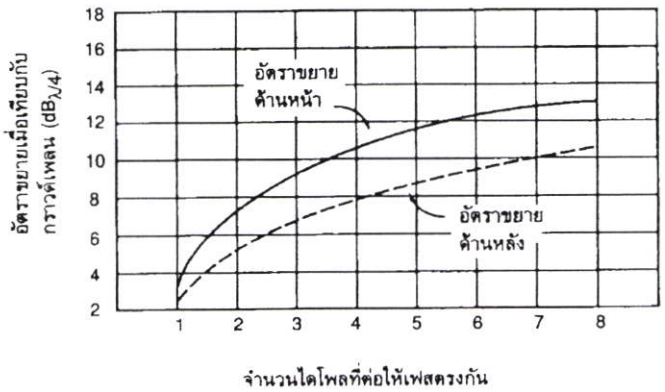
2.6 ผลของระยะห่างระหว่างไดโพล



รูปที่ ข5.7 แสดงผลการทดลองนำเอาไดโพลมาสแต็กกัน 2 ตัวที่ระยะต่างๆ ระหว่างปลายของไดโพลตัวหนึ่งกับอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน

จากรูปที่ ข5.7 เป็นกราฟที่ได้จากการนำเอาไดโพลมาสแต็กกันในแนวดิ่งเดียวกัน เพื่อดูว่าไดโพลควรจะวางห่างกันเท่าไรดี ถ้าไดโพลอยู่ชิดกันมากเกินไปจะมีผลกระทบถึงกันทางอิมพีแดนซ์ จะเห็นว่าที่ระยะห่างน้อยกว่า 0.3 λ ระหว่างปลายของไดโพลตัวหนึ่งกับอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน อัตราขยายโดยรวมของทั้ง 2 ตัวจะน้อยกว่า 3 dB คือน้อยกว่า 2 เท่าของอัตราขยายของตัวเดียว และที่ระยะห่างระหว่าง 0.4 λ และ 0.5 λ จะได้อัตราขยายสูงที่สุด

2.7 อัตราขยายที่ได้จากการสแต็ก



รูปที่ ข5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายที่ได้กับจำนวนไดโพลที่นำมาสแต็กกัน ให้ห่าง 0.22 λ จากเสากลาง และปลายห่างกัน 0.48 λ

จากรูปที่ ข5.8 แสดงอัตราขยายที่ได้เมื่อสแต็กไดโพลในแนวดิ่งเดียวกันโดยให้ไดโพลแต่ละตัวอยู่ห่างจากเสากลาง 0.22 λ เพื่อให้มีอิมพีแดนซ์เป็น 50โอห์ม และปลายของไดโพลอยู่ห่างกัน 0.48λ เพื่อให้ได้อัตราขยายสูง อัตราขยายที่แสดงในกราฟนี้เป็นอัตราขยายเมื่อเทียบกับสายอากาศกราวด์เพลน $\frac{\lambda}{8}$

2.8 การต่อสายแมทชิ่ง

ถ้าต้องการสแต็กไดโพล 2 ตัว ที่มีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม ให้มีอิมพีแดนซ์รวมเป็น 50 โอห์ม เนื่องจากไดโพลทั้งสองตัวต้องมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากัน ดังนั้นก็หมายความว่าไดโพลทั้งสองจะต้องถูกแปลงให้มีอิมพีแดนซ์เป็น 100 โอห์ม เสียก่อนเมื่อนำมาขนานกันแล้วอิมพีแดนซ์รวมจึงจะลดลงมาครึ่งหนึ่งเป็น 50 โอห์ม

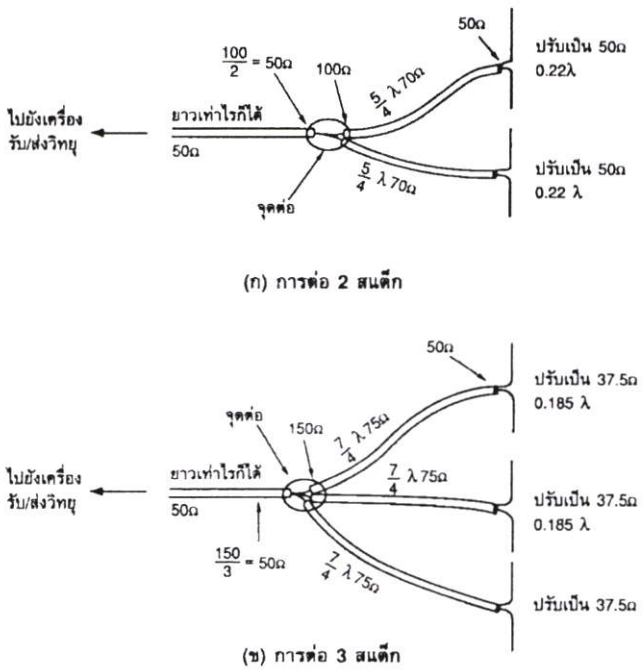
วิธีการแปลงอิมพีแดนซ์ที่ง่ายวิธีหนึ่ง คือ ใช้สายแมทชิ่ง (MATCHING SECTION) หรือที่เรียกว่า ควอเตอร์เวฟทรานสฟอร์เมอร์ หรือสายเฟสชิ่ง หลักการคือ เมื่อนำเอาสายแมทชิ่งที่มีอิมพีแดนซ์เป็น Z_o ที่มีความยาวทางไฟฟ้าเป็นจำนวนเลขคี่ของ $\frac{\lambda}{4}$ (เช่น $\frac{\lambda}{4}, 3\frac{\lambda}{4}, 5\frac{\lambda}{4}$ .....) มาต่อเข้ากับอุปกรณ์ (สายอากาศ) ที่มีอิมพีแดนซ์เป็น Z_L อิมพีแดนซ์ (Z_s) ที่ปรากฏที่ปลายอีกข้างหนึ่งของสายแมทชิ่งจะมีความสัมพันธ์กับ Z_o และ Z_L ดังนี้

$$Z_O = \sqrt{Z_s Z_L}$$

ดังนั้นเมื่อทราบค่าอิมพีแดนซ์ของสายแมทช์ชิ่งที่ใช้และอิมพีแดนซ์ที่ถูกแปลงมาแล้วก็หาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ต้องสร้างขึ้นได้จาก

$$Z_L = \frac{Z_O^2}{Z_s}$$

จากตัวอย่างต้องแปลงอิมพิแดนซ์ของไดโพลแต่ละต้นให้เป็น 100 โอห์มเสียก่อน โดยการนำเอาสายโคแอกเชียลที่มีอิมพีแดนซ์ 70 โอห์ม และมีความยาวทางไฟฟ้าเป็นจำนวนเท่าเลขคี่ของ $\frac{\lambda}{4}$ มาทำเป็นสายแมทชิ่งโดยแทรกเข้าไปที่ไดโพลแต่ละตัวก่อน ดังนั้นเมื่อมองที่อีกปลายหนึ่งของสายแมทชิ่งจะมองเห็นอิมพีแดนซ์เป็น 100 โอห์มเมื่อนำมาขนานกันก็จะได้อิมพีแดนซ์รวมเป็น 50 โอห์ม สามารถต่อเข้ากับสายโคแอกเชียล 50 โอห์ม เพื่อไปเข้ากับเครื่องรับ/ส่งวิทยุต่อไป



รูปที่ ข5.9 แสดงตัวอย่างวิธีการแมทชิ่งไดโพล 2 และ 3 สแต็ก

จากรูปที่ ข5.9 สายแมทชิ่งที่ใช้ต้องยาว $5\frac{\lambda}{4}$ เพื่อให้ความยาวพอที่จะมาต่อรวมกันได้ และถ้าต้องการจะทำเป็น 3 สแต็ก ต้องเอาสายอากาศทั้ง 3 ตัวมาต่อรวมกันเพื่อให้ผลรวมออกมาเป็น 50 โอห์ม พร้อมที่จะต่อเข้ากับสายโคแอกเชียล 50 โอห์ม สายอากาศไดโพลแต่ละตัวจะต้องถูกแปลงขึ้นมาเป็น 3 เท่าของ 50 โอห์ม คือ 150 โอห์มนั่นเอง แต่ถ้ามีสายโคแอกเชียลเพียง 2 ขนาดคือ 50 โอห์มและ 75 โอห์มเท่านั้น ถ้าใช้สาย 50 โอห์มแปลงอิมพีแดนซ์เป็น 150 โอห์ม แสดงว่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะต้องเป็น 16.67 โอห์ม และถ้าใช้สาย 75 โอห์มแปลงอิมพีแดนซ์เป็น 150 โอห์ม อิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะต้องเป็น 37.5 โอห์ม ในกรณีนี้ควรเลือกใช้สาย 75 โอห์ม เพราะอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะสูงกว่า 50 โอห์ม ทำให้ได้แถบความถี่กว้างขึ้น และทำให้ได้อัตราขยายสูงกว่า การต่อ 3 สแต็กแสดงให้เห็นในรูปที่ ข5.9 (ข) ซึ่งจะต้องปรับระยะห่างจากเสากลางเป็นประมาณ 0.185 λ เพื่อให้ได้ความต้านทานประมาณ 37.5 โอห์ม

2.9 ความยาวจริงของสายแมทชิ่ง

ความยาวจริงจะสั้นกว่าความยาวทางไฟฟ้า เพราะคลื่นวิทยุจะเดินทางในสายได้ช้ากว่าเดินทางในอากาศ ดังนั้นเมื่อต้องการทราบความยาวที่แท้จริงของสายอากาศโคแอกเชียล จะต้องนำเอาตัวคูณทางความเร็ว (Velocity Factor หรือ V) ของสายโคแอกเชียลที่ใช้คูณเข้าไป ซึ่งค่าตัวคูณนี้จะเปิดดูได้จากแคตตาล็อกของผู้ผลิต หรือตำราที่เกี่ยวกับวิทยุสมัครเล่นก็ได้

สายเบอร์	Z_0 (Ω)	ตัวคูณความเร็ว (v)	อัตราการสูญเสีย (dB) ที่ความยาว 100 ฟุต ที่ 144 MHz	อัตราทนกำลังสูงสุด (W) ที่ 144 MHz	ราคาโดยประมาณ (บาท/เมตร)
RG-8A/U	52.0	0.66	2.5	800	25
RG-8/Uโฟม	50.0	0.80	2.0	1,100	-
RG-11A/U	75.0	0.66	2.8	800	28
RG-58A/U	52.0	0.66	6.0	175	12

รูปที่ ข5.10 แสดงคุณสมบัติของสายโคแอกเชียลที่นิยมใช้กัน

ถ้าต้องการหาความยาวจริงของสายโคแอกเชียลเบอร์ RG-11A/U ซึ่งมีค่าตัวคูณทางความเร็ว (V) เป็น 0.66 ต้องการตัดให้ได้ค่าความยาวทางไฟฟ้าเป็น $5\frac{\lambda}{4}$ จะหาค่าความยาวจริงได้ดังนี้

ความยาวจริง $= 5\frac{\lambda}{4}\times v$

$= \frac{5}{4}\left(\frac{29980}{f}\right)\times v$

$= \frac{5}{4}\times\frac{29980}{f}\times 0.66$

$= 170.6$ เซนติเมตร

2.10 สรุปหลักการสแต็กสายอากาศแบบ YAGI

การนำสายอากาศแบบ YAGI มาสแต็กกัน 2 แผง เพื่อให้ได้อัตราการขยายที่สูงขึ้น ใช้สายนำสัญญาณ 75 โอห์ม ที่มีชีลหนามาทำการแมทช์ ต้นแบบใช้สาย RG 11 คิดความยาวตามสูตร

$$L = \frac{n\lambda \times vc}{4}$$

เมื่อ n = จำนวนคี่ 1,3,5,7,9,...

L = ความยาวของสายเฟสชิ่ง

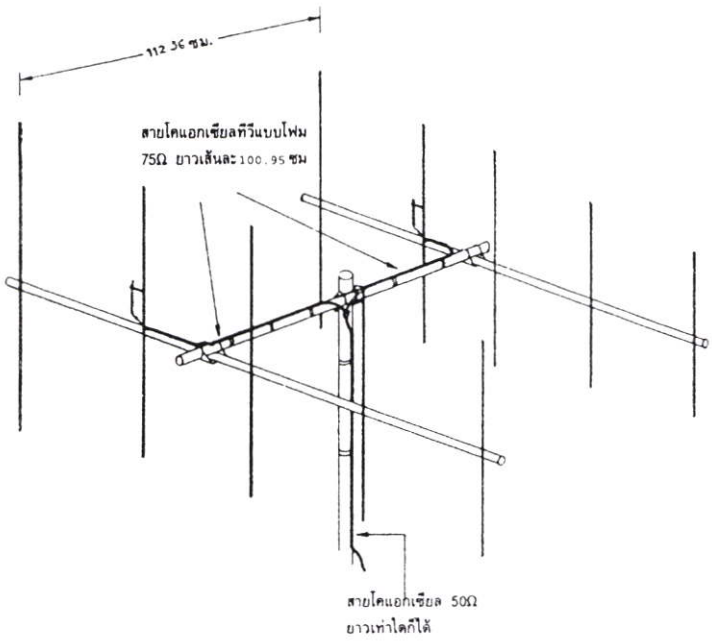
λ = ความยาวคลื่น

vc = ค่าความเร็วคงตัวของสาย

การนำสายสัญญาณจากสายอากาศทั้ง 2 ชุดมารวมกันเพื่อต่อเข้ากับสายนำสัญญาณทำได้ 2 วิธี

1. ในกรณีที่นำสายอากาศไปติดตั้งได้ทีละแผง ควรใช้ข้อต่อ 75 โอห์ม 3 ทางร่วมกับปลั๊ก PL-259 เพื่อความสะดวก

2. ในกรณีที่นำสายอากาศไปติดตั้งได้พร้อมกันทั้ง 2 แผง ให้ทำการต่อแบบเชื่อมบักกรีด้วยตะกั่ว



รูปที่ ข5.11 แสดงระยะห่างระหว่างสายอากาศ 5E 2 ต้นและการต่อสายแต่ละต้นมาขนานกัน

ขั้นตอนการปรับแต่ง

1. นำสายอากาศ 2 ต้นยึดกับเสากลางดังรูปที่ ข5.11

2. คำนวณหาค่าความยาวของสายเฟสชิ่ง ดังที่กล่าวมาแล้ว

3. นำสายที่ได้จากการคำนวณมาต่อเข้ากับ 3 ทาง 75 โอห์ม โดยนำด้านหนึ่งต่อเข้ากับดัมมี่โหลดที่รู้ค่าโอห์มแน่นอน

4. ปรับแกนแมทช์ของสายอากาศจนได้ค่า SWR ต่ำสุด แล้วเปลี่ยนข้างปรับสายอากาศอีกต้นตามข้อ 3

5. ปลดดัมมี่โหลดออก แล้วนำสายอากาศ 2 ต้น ต่อตรงถึงกัน ปรับแกนแมทช์จนได้ค่า SWR ต่ำสุด

	ใบงาน	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วย การแมทชิ่งระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การแมทช์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณ		จำนวนคาบ 4

1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 นักศึกษาสามารถติดตั้งพร้อมปรับแต่งสายอากาศแบบแมทชิ่งรูปตัวทีตามเวลาที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง (30 นาที)

1.2 นักศึกษาสามารถติดตั้งพร้อมปรับแต่งสายอากาศแบบแกมม่าแมทช์ตามเวลาที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง (30 นาที)

1.3 นักศึกษาสามารถทำสาย Phasing Line เพื่อการ Stacking สายอากาศได้อย่างถูกต้อง

1.4 นักศึกษาสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และแก้ปัญหาร่วมกันได้

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1 สายอากาศแบบแมทชิ่งรูปตัวทีและแบบแกมม่าแมทช์ อย่างละ 1 แผง (พร้อมขาตั้ง)

2.2 สายนำสัญญาณ RG58A/U (10 เมตร) 1 เส้น

2.3 เครื่องวัด SWR มิเตอร์ 1 เครื่อง

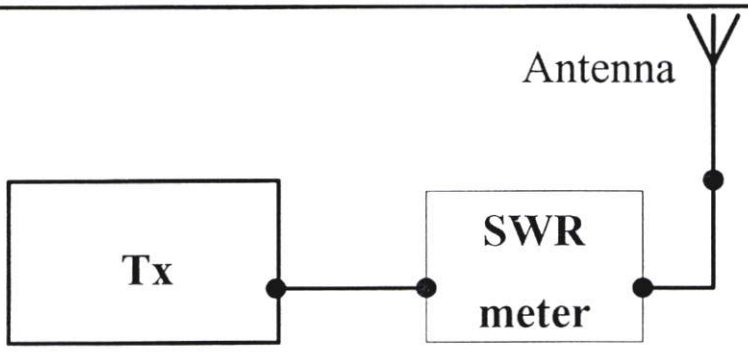
2.4 เครื่องส่งความถี่ย่าน VHF 1 เครื่อง

2.5 สาย Phasing Line 1 เส้น

2.6 สายอากาศ Yagi 5E 2 แผง (พร้อมขาตั้ง)

3. ลำดับขั้นการปฏิบัติ

ตอนที่1



3.1 บันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงานจากการสาธิตของผู้สอน (2.5)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.2 ต่ออุปกรณ์ตามรูป 1 สายอากาศแบบแมทชิ่งรูปตัวที หมายเลข ..... ใช้ SWR มิเตอร์วัดค่าที่จุด 1 ปรับเลื่อนท่ออลูมิเนียมจนได้ค่าที่ต่ำสุด มีค่า ..... **:1** กำลังส่งออกอากาศต่อกำลังสะท้อนกลับเท่ากับ...../.....

3.3 ทำสาย Balun เพื่อแมทซ์สายนำสัญญาณกับสายอากาศ วัดค่า SWR เท่ากับ.....**:1**

3.4 ต่ออุปกรณ์ตามรูป เปลี่ยนอุปกรณ์สายอากาศแบบแกมม่าแมทชิ่งหมายเลข...4... ปรับและเลื่อนท่ออลูมิเนียมจนอ่านค่าจาก SWR มิเตอร์ได้ต่ำสุด..... **:1** กำลังส่งออกอากาศต่อกำลังสะท้อนกลับเท่ากับ...../.....

4. ปัญหา

4.1 จากข้อที่ 3.2 อะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่า SWR มีค่าลดลงเมื่อปรับเลื่อนท่ออะลูมิเนียม (2.5)

ตอบ

.....

.....

.....

4.2 เราสามารถหาค่า D,Lและขนาด d ได้อย่างไรถ้าต้องการส่งสัญญาณวิทยุความถี่ 245 MHz (5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4.3 การแมทช์แบบทีแมทช์และแกมม่าแมทช์มีข้อแตกต่างกันอย่างไร (2.5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

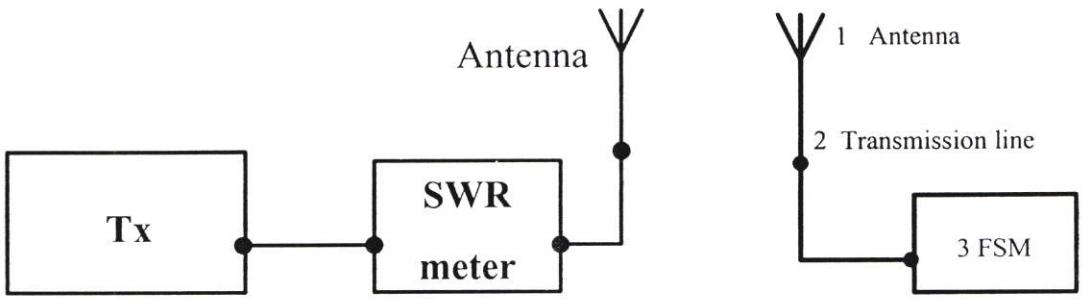
.....

.....

.....

ตอนที่2

5. ลำดับขั้นการปฏิบัติ



(ก) (ข)

5.1 ออกแบบหาค่าความยาวของ Phasing Line โดยมีความถี่ใช้งานเท่ากับ 245 MHz (5)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5.2 ต่ออุปกรณ์ตามรูป (ก) วัดค่า SWR อ่านค่าจากหน้าปัดได้ ..... **:1**

5.3 ต่ออุปกรณ์ตามรูป (ก) โดยความยาวของสาย Phasing Line ได้จากการออกแบบตามข้อ 5.1

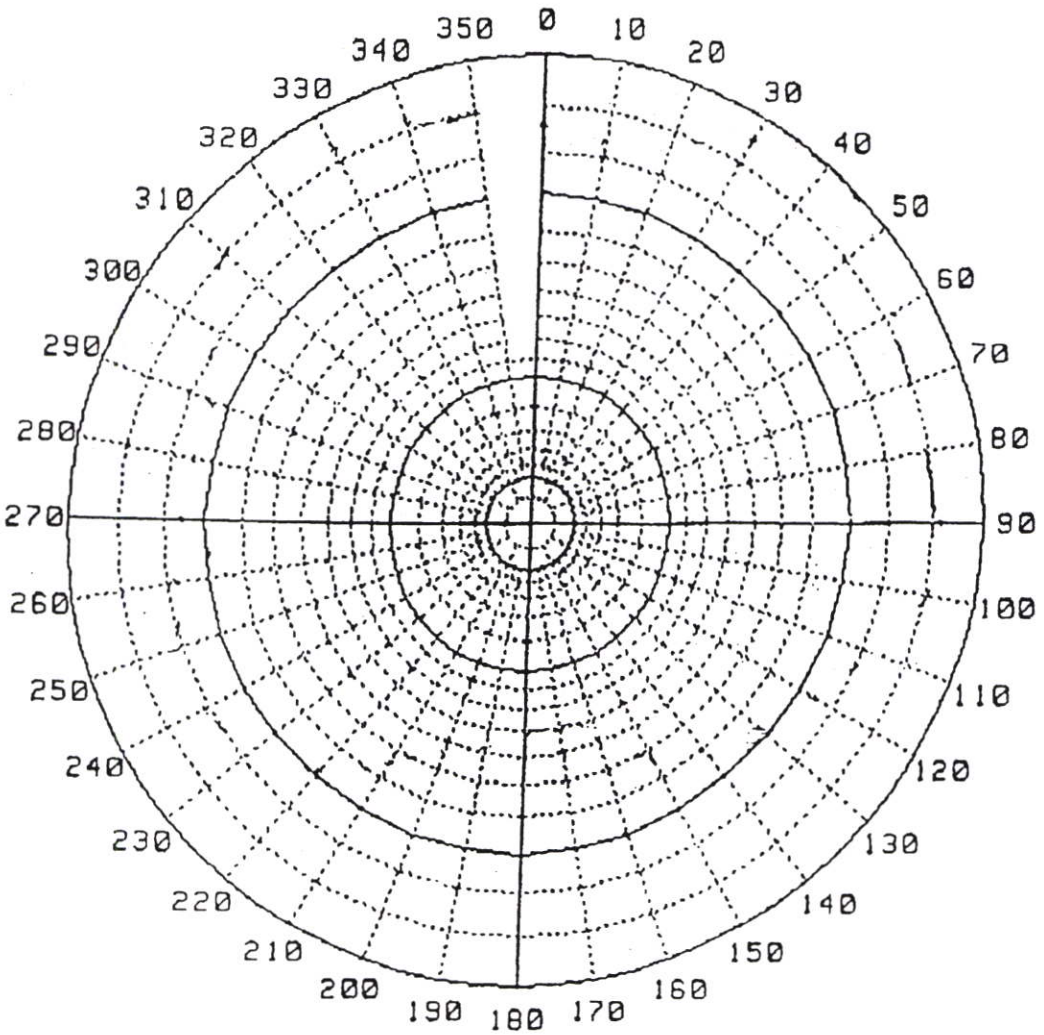
5.4 วัดค่า SWR อ่านค่าจากหน้าปัดได้ ..... **:1**

5.5 ต่ออุปกรณ์ตามรูป (ข) เพิ่ม ให้ระยะตัวรับ-ส่งอยู่ห่างกัน 30 เมตร หันสายอากาศให้หน้าคลื่นมีทิศทางตรงกัน ปรับตำแหน่งของสายอากาศให้อ่านค่า FSM. ที่มีค่ามากที่สุด คือ .....dB.

5.6 ปรับสายอากาศรูป (ข) ไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ทางขวา) ครั้งละ 10 องศา บันทึกค่าลงใน ตารางจนครบ 360 องศา (2.5)

องศา	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Gainการรับ												
องศา	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
Gainการรับ												
องศา	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360
Gainการรับ												

5.7 นำค่าจากตารางบันทึกลงกราฟ เพื่อหา Pattern ของสายอากาศ (2.5)



6. ปัญหา

6.1 ถ้าต้องการให้ได้ค่า SWR มีค่าใกล้เคียง 1:1 จะแก้ไขได้ด้วยวิธีใด เพราะเหตุใด (2.5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

7. สรุปผลการทดลอง (5)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

	แบบประเมิน	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วย การแมทชิ่งระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การแมทช์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณ		จำนวนคาบ 4

1. การแมทช์โดยใช้รูปแบบตัวที จะใช้ได้ดีกับสายนำสัญญาณแบบใด

   ก. แบบโคแอกเชียล 75 Ω

   ข. แบบโคแอกเชียล 50 Ω

   ค. แบบทวีนลีด 300 Ω

   ง. ใช้ได้กับสายทุกชนิด

2. การปรับปรุงสายอากาศที่แมทช์แบบตัวทีให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้นทำได้ด้วยวิธีในข้อใด

   ก. ทำความยาวของห่วงให้มีค่าน้อยกว่า $\frac{1}{4}$ ของความยาวคลื่น

   ข. ปรับแกนแมทช์ให้ค่า VSWR มีค่าต่ำสุด

   ค. เปลี่ยนสายนำสัญญาณเป็น 75 Ω

   ง. ต่อตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้ประมาณ 0-160 nF ที่จุดฟีดทั้ง 2 ข้างเพื่อให้เกิดการรีโซแนนซ์

3. สายอากาศแบบแกมม่าแมทช์มีความแตกต่างกับแบบทีแมทช์อย่างไร

   ก. มีการแมทช์เพียงครึ่งหนึ่งของรูปตัวที

   ข. มีอิมพีแดนซ์อยู่ระหว่าง 50-75 Ω

   ค. มี C ปรับค่าได้ในลักษณะอนุกรม

   ง. ถูกทั้งข้อ ก และข้อ ข

4. ข้อเสียของสายอากาศแบบทีแมทช์และแกมม่าแมทช์ที่เหมือนกันตรงกับข้อใด

ก. เป็นสายอากาศที่ไม่บาลานซ์ นำมาต่อกับบาลานซ์โดยตรงไม่ได้

ข. เกิดความชื้นจึงทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนเนื่องจากมีการต่อตัวเก็บประจุ C

ค. มีปัญหาเรื่องการแผ่คลื่นได้น้อยจึงทำให้ส่งสัญญาณได้ใกล้

ง. เมื่อนำมาต่อกับสายโคแอกเชียลจะเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ เพราะเป็นสายอากาศแบบบาลานซ์

5. สายอากาศชนิดใดที่ปรับปรุงมาจากสายอากาศแบบแกมม่าแมทช์

ก. แบบทีแมทช์

ข. แบบโอเมก้าแมทช์

ค. แบบเดลต้าแมทช์

ง. แบบแฮร์พินแมทช์

6. สายอากาศแบบทีแมทช์ความถี่ที่ใช้งานคือ 240 MH_z ความยาวแกนแมทช์ควรมีค่าเท่าไร

ก. 10% ของ $\frac{\lambda}{4}$

ข. 15% ของ $\frac{\lambda}{4}$

ค. 20% ของ $\frac{\lambda}{4}$

ง. 20% ของ $\frac{\lambda}{2}$

7. จากข้อ 6 ถ้า D มีค่าเท่ากับ 3 mm. ค่า d ควรมีค่าเท่าไร

ก. $\frac{1}{2}D$

ข. $\frac{1}{3}D$

ค. $\frac{1}{4}D$

ง. $\frac{1}{5}D$

8. สายอากาศแบบแกมม่าแมทช์ ควรมีความยาวแกนแมทช์ (L) เท่าไร

ก. 10% ของ $\frac{\lambda}{4}$

ข. 15% ของ $\frac{\lambda}{4}$

ค. 20% ของ $\frac{\lambda}{4}$

ง. 10% ของ $\frac{\lambda}{2}$

9. แกนแมทช์ที่สั้นของการแมทช์แบบทีแมทช์และแกมม่าแมทช์ทำให้เกิดผลตรงกับข้อใด

ก. อิมพิแดนซ์ 300 โอห์ม

ข. อิมพิแดนซ์ 50 – 75 โอห์ม

ค. ค่า L

ง. ค่า C

10. ระยะห่างระหว่าง Driver กับแกนแมทช์ควรมีค่าเท่าไร

ก. $\frac{\lambda}{2}$

ข. มากกว่า $\frac{\lambda}{2}$

ค. น้อยกว่า $\frac{\lambda}{4}$

ง. $\frac{\lambda}{4}$

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ใบงานที่ 5 การแมทช์สายอากาศเข้ากับสายนำสัญญาณ

ผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	**ระดับคะแนน**				
	ควรปรับปรุง (1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง (15 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือติดตั้งอุปกรณ์ (5)	1	2	3	4	5
1.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5)	1	2	3	4	5
1.3 เวลาที่ใช้ในการติดตั้ง (5)	1	2	3	4	5
(2) การปฏิบัติการทดลอง (15 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.3 เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
(3) การบันทึกการปฏิบัติการทดลอง (5 คะแนน)	1	2	3	4	5
(4) การบันทึกผลการทดลอง (5 คะแนน)	1	2	3	4	5
(5) การตอบคำถามท้ายการทดลอง (15 คะแนน)	3	6	9	12	15
(6) แบบประเมินหน่วยที่ 5 (10 คะแนน)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ภาคทฤษฎี 30 % คือ..... ภาคปฏิบัติ 70 % คือ.....				

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

	แผนการสอน	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 6
	ชื่อหน่วย การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi	
เรื่อง/งาน การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi		จำนวนคาบ 4

หัวข้อเรื่อง

ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการออกแบบสายอากาศแบบ Yagi ตามวิธีของ NBS ดริเว่นอีลีเมนท์และการแมทช์แบบต่างๆ ที่นิยมใช้กับสายอากาศ Yagi หา Pattern ของสายอากาศแบบ Yagi

สาระการเรียนรู้

1. การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi ตามวิธีของ NBS
2. ดริเว่นอีลีเมนท์และการแมทช์แบบต่างๆ ที่นิยมใช้กับสายอากาศ Yagi
3. หา Pattern ของสายอากาศแบบ Yagi

ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง

สาระที่ 1 การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi ตามวิธีของ NBS

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

มาตรฐานที่ 3 ติดตั้งและทดสอบคุณสมบัติสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 2 ดริเว่นอีลีเมนท์และการแมทช์แบบต่างๆ ที่นิยมใช้กับสายอากาศ Yagi

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 3 หา Pattern ของสายอากาศแบบ Yagi

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

กิจกรรมการเรียนการสอน

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

1. นักศึกษาฟังคำอธิบายประกอบการสาธิตการทดลองใบงานที่ 6

2. นักศึกษาตั้งใจฟังคำสั่งจากครูเกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองที่สำคัญ การปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยและข้อควรระวัง
3. ครูและนักศึกษาช่วยกันสรุปขั้นตอนในการทดลองใบงานที่ 6

ขั้นปฏิบัติงาน

4. นักศึกษาแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 5 คน
5. นักศึกษาแต่ละกลุ่มทำความเข้าใจกับวัตถุประสงค์ของใบงาน และทบทวนความรู้จากใบความรู้หน่วยที่ 6
6. นักศึกษาฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงานที่ 6 ในเอกสารใบงาน
7. ครูตรวจสอบการปฏิบัติงานของนักศึกษา และให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางการปฏิบัติที่ถูกต้อง
8. ครูสังเกตการปฏิบัติงานของนักศึกษาและบันทึกลงในแบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ
9. นักศึกษาฟังการวิจารณ์ ติ ชมของครู พร้อมทั้งช่วยกันแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล และช่วยกันแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อนำไปปฏิบัติให้ถูกต้องในโอกาสต่อไป
10. นักศึกษาทำแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 6 เปลี่ยนกันตรวจ โดยดูเฉลยบนกระดาน เสร็จแล้วส่งผลคะแนนให้ครู

ขั้นสรุปและการประยุกต์

11. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปบทเรียน โดยเปิดโอกาสให้ซักถามถ้ามีข้อสงสัยในเรื่องใด

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารใบความรู้หน่วยที่ 6 เรื่องการออกแบบสายอากาศแบบ Yagi
2. ใบงานที่ 6 เรื่องการออกแบบสายอากาศแบบ Yagi
3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองตามที่ระบุในใบงานที่ 6

การวัดผลและการประเมินผล

1. วิธีวัดผล

1. ตรวจแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 6

2. ฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงาน

2. เครื่องมือวัดผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 6

2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ

3. เกณฑ์การประเมินผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้ เกณฑ์ผ่าน ต้องตอบคำถามได้ถูกต้องไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่ง

2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ เกณฑ์ผ่าน ปานกลาง (ประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ 50% ขึ้นไป)

	ใบความรู้	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 6
	ชื่อหน่วย การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi	
เรื่อง/งาน การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi		จำนวนคาบ 4

3. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 นักศึกษาสามารถบอกหน้าที่ของส่วนประกอบของสายอากาศแบบ Yagi ได้อย่างถูกต้อง

1.2 นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการแมทช์ดริเว่นอีลีเมนต์แบบต่างๆ ที่นิยมใช้กับสายอากาศแบบ Yagi ได้

1.3 นักศึกษาสามารถออกแบบสายอากาศแบบ Yagi ตามวิธีของ NBS ให้สามารถใช้งานได้ตรงตามความถี่ที่ใช้งาน

2. เนื้อหา

2.1 การออกแบบสายอากาศ Yagi ตามวิธีของ NBS

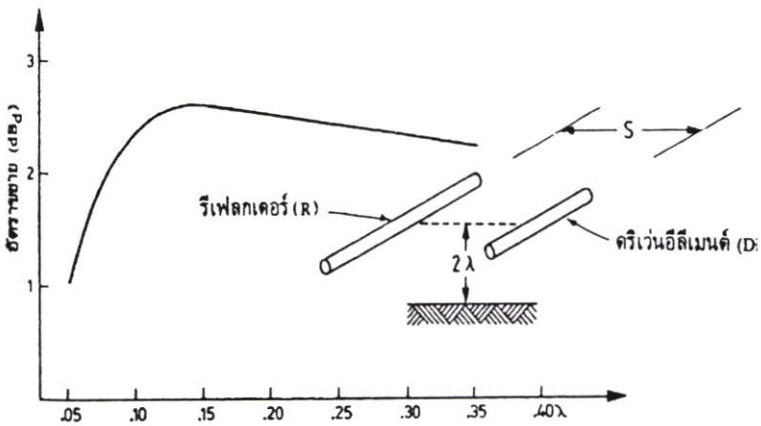
เป็นวิธีการออกแบบที่พัฒนาขึ้นโดยสำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ (NBS) ของอเมริกาซึ่งจะช่วยให้สามารถออกแบบสายอากาศ Yagi ขนาดตั้งแต่ 3 E ถึง 15 E สำหรับความถี่ต่าง ๆ ตามต้องการได้ด้วยตนเอง

สายอากาศ Yagi เป็นสายอากาศทิศทางแบบหนึ่งที่ได้รับความนิยมใช้งานมานาน ตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่สองและก็ได้รับความนิยมเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา มีผู้พยายามวิจัยเพื่อหาวิธีการออกแบบที่จะทำให้สายอากาศมีอัตราขยายต่อความยาวของบูมมากที่สุดโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ตั้งแต่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ต่าง ๆ จำนวนไดเรกเตอร์ และเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของอีลีเมนต์ต่าง ๆ ซึ่งก็พบด้วยว่าขนาดต่าง ๆ เหล่านี้ทั้งหมดมีผลกระทบระหว่างกันพอเปลี่ยนตัวหนึ่ง ก็ต้องเปลี่ยนระยะของตัวอื่นไปด้วย เพราะทุกอย่างมีผลกระทบถึงอัตราขยาย รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น และความถี่ใช้งาน

จากการวิจัยใช้การทดลองเป็นหลัก ซึ่งต้องใช้เวลานานมากกว่าจะได้ผลการทดลองที่สามารถสรุปได้ บางการวิจัยต้องใช้คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่เข้าช่วย เพื่อทดสอบสมการทางคณิตศาสตร์ว่าสามารถอธิบายพฤติกรรมต่าง ๆ ของสายอากาศ Yagi ได้แม่นยำน่าพอใจหรือไม่ เมื่อพบว่าน่าพอใจหรือพอเชื่อถือได้แล้วจึงนำมาใช้วิเคราะห์หา ระยะห่าง และความยาวที่เหมาะสมอีกทีหนึ่ง จนกระทั่งล่าสุดนี้ได้พัฒนามาถึงขั้นใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบสายอากาศ Yagi ให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ ในผลการวิจัยทั้งหลายนั้นผลงานที่น่าสนใจ เป็นวิธีการซึ่งสำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ (National Bureau of Standards หรือ NBS) ของอเมริกาวิจัยเอาไว้ แม้ว่าวิธีนี้จะให้

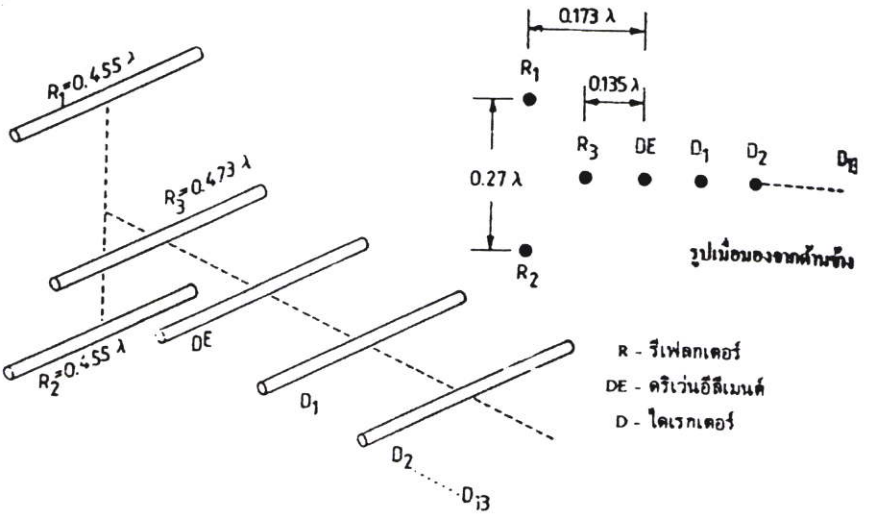
อัตราขยายยังไม่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นในปัจจุบันที่ใช้คอมพิวเตอร์ (จะได้อัตราขยายน้อยกว่าวิธีที่ดีที่สุดในปัจจุบันอยู่ประมาณ 1dB) แต่ก็เป็นวิธีง่าย ๆ ซึ่งสามารถทำตามได้ แม่นยำ และให้ผลการใช้งานที่น่าพอใจ วิธีนี้ใช้ได้กับการออกแบบสายอากาศ Yagi ที่ความถี่ใดก็ได้ตั้งแต่ VHF ถึง UHF ที่มีความยาวบูมประมาณตั้งแต่ 0.4 λ ถึง 4.2 λ ซึ่งจะได้อัตราขยายประมาณ 7.1 dB_d ถึง 14.2 dB_d (ตามผลการทดลองของ NBS) จากการรายงานผลการศึกษาของ NBS เพื่อให้ได้ระยะและขนาดต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับ สายอากาศ Yagi นั้น (โดยให้สายอากาศ Yagi ที่ว่านี้อยู่ในภาวะรับ และทดสอบที่ความถี่ 400 MHz) สามารถสรุปประเด็นที่สำคัญและควรรู้ได้ดังนี้

1. รีเฟลกเตอร์ วิศวกรของ NBS เริ่มต้นศึกษาจาก Yagi 2 อีลีเมนต์ก่อนว่า ระยะและความยาวของรีเฟลกเตอร์ควรเป็นเท่าไร จึงจะได้อัตราขยายสูงสุดเป็น 2.6 dB_d จากผลการทดลองดังรูป ที่ ข6.1



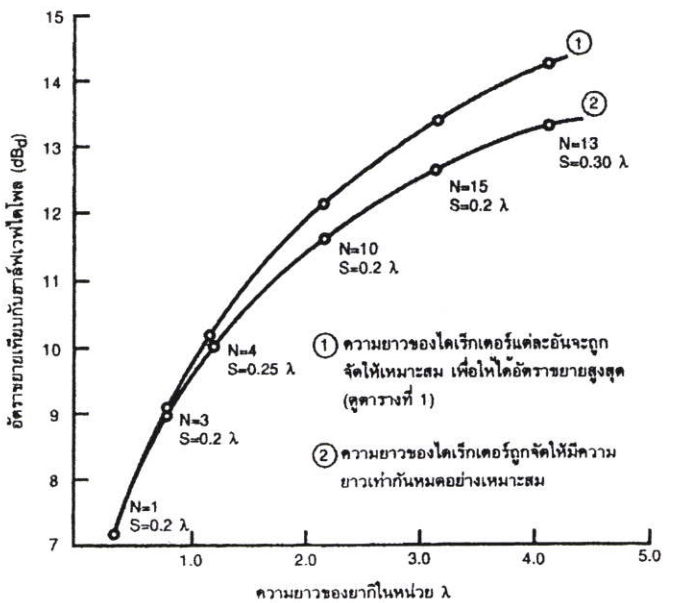
รูปที่ ข6.1 แสดงผลการทดลองหาอัตราขยายของสายอากาศ Yagi สำหรับระยะห่างต่าง ๆ กัน ระหว่างรีเฟลกเตอร์และดริเว่นอีลีเมนต์ โดยทดลองที่ความสูงจากพื้นดินประมาณ 2 λ

เมื่อรีเฟลกเตอร์อยู่หลังดริเว่นอีลีเมนต์ 0.2 λ โดยระยะนี้ไม่วิกฤตเท่าไรนัก เพราะแม้จะต่างจาก 0.2 λ ไปบ้างก็ไม่ทำให้อัตราขยายลดลงไปมากนัก ดังนั้น ในการทดลองอื่น ๆ ถัดจากนี้ของ NBS จึงใช้ระยะห่างระหว่างรีเฟลกเตอร์และดริเว่นอีลีเมนต์เป็น 0.2 λ ตลอด วิศวกรของ NBS พยายามลองจัดรีเฟลกเตอร์ อีกหลาย ๆ รูปแบบ เพื่อดูว่ามีทางเพิ่มอัตราขยายได้อีกบ้างหรือไม่ ในที่สุดพบว่า เมื่อเพิ่มรีเฟลกเตอร์อีก 2 อัน (รวมเป็น 3 อัน) แล้วจัดเป็นรูปสามเหลี่ยม (เมื่อมองดูจากด้านข้าง)อย่างที่เรียกว่า Trigonal Reflector จะได้อัตราขยายเพิ่มขึ้นสูงสุดกว่า แบบที่ใช้รีเฟลกเตอร์อันเดียวอยู่ 0.75 dB เมื่อทดสอบกับสายอากาศ Yagi ที่ยาว 4.2 λ ซึ่ง NBS คาดว่าน่าจะให้ผลทำนองเดียวกันเมื่อนำไปใช้กับสายอากาศ Yagi ที่ความยาวบูมอื่น ๆ และน่าใช้ในกรณีที่ต้องการอัตราส่วนระหว่างสัญญาณด้านหน้าต่อด้านหลัง (F/B ratio) สูง



รูปที่ ข6.2 แสดงการจัดรีเฟลกเตอร์ 3 อันเป็นรูปสามเหลี่ยมตามการทดลองของ NBS

2. ไดเรกเตอร์ เมื่อจัดรีเฟลกเตอร์แล้วก็มาถึงไดเรกเตอร์ซึ่งนับเป็นหัวใจสำคัญ สำหรับการออกแบบสายอากาศ Yagi จากการทดลองพบว่าทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางความยาวและระยะห่างของไดเรกเตอร์ต่างมีผลกระทบถึงกันหมด นอกจากนั้น ยังพบว่ายิ่งใช้จำนวนไดเรกเตอร์มากขึ้น (โดยใช้ความยาวบูมเพิ่มขึ้นด้วย) ค่าเหล่านี้ก็ยิ่งวิกฤตมากขึ้น คือ มีผลมากขึ้น ขนาดหรือระยะต่าง ๆ ผิดเพี้ยนไปหน่อย ก็มีผลต่อการทำงานอย่างเห็นได้ชัดขึ้น



รูปที่ ข6.3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของยากิ

ในการทดลองของ NBS นั้น เขาลองใช้ไดเรกเตอร์ที่มีความยาวต่าง ๆ กัน มาวางให้แต่ละตัวห่างเท่า ๆ กัน ตั้งแต่ 0.01 λ ถึง 0.40 λ บนบูมที่ยาวขึ้นไปถึง 10 λ เมื่อลองเอาผลต่าง ๆ เหล่านี้มาลองเขียนกราฟดูก็พบว่ามีระยะห่างที่เหมาะสมของไดเรกเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศได้อีก ถ้าเลือกความยาวของไดเรกเตอร์แต่ละอัน ให้เหมาะสมด้วย ในรูปที่ ข6.3 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตราขยายสูงสุดที่ทดลองได้ที่ความยาวบูมต่าง ๆ กัน สำหรับกรณีที่ให้ความยาวของไดเรกเตอร์แต่ละอันอย่างเหมาะสม

3. เส้นผ่านศูนย์กลางของอีลีเมนต์ ในการทดลองของ NBS เขาพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์มีผลต่อความยาวที่เหมาะสมของตัวมัน เช่น เมื่อเปลี่ยนไดเรกเตอร์ให้อ้วนขึ้นจะต้องเปลี่ยนความยาวให้สั้นลงกว่า ในตารางที่ ข 6.1 จึงจะได้ผลการทดลองอย่างเดิมที่ความถี่กลาง ที่ออกแบบไว้ ดังนั้น เขาจึงทำกราฟรูปที่ ข6.4 ขึ้นมาเพื่อใช้ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ต่างจาก 0.0085 λ โดยใช้ได้กับเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่จาก 0.001 λ ถึง 0.04 λ วิธีการใช้กราฟ ในรูปที่ ข6.5 จะได้อธิบายถึงในภายหลัง

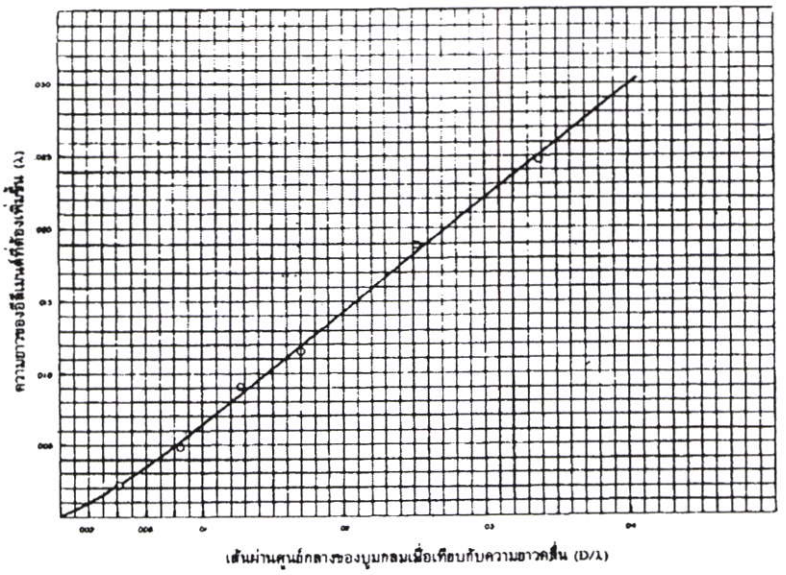
ความยาวของบูม (λ)	0.4	0.8	1.2	2.2	3.2	4.2
จำนวนอีลีเมนต์ทั้งหมด	3	5	6	12	17	15
ความยาวของรีเฟล็กเตอร์ (λ)	0.482	0.482	0.482	0.482	0.482	0.475
ความยาวของไดเร็กเตอร์ที่ 1	0.442	0.428	0.428	0.432	0.428	0.424
ที่ 2	—	0.424	0.420	0.415	0.420	0.424
ที่ 3	—	0.428	0.420	0.407	0.407	0.420
ที่ 4	—	—	0.428	0.398	0.398	0.407
ที่ 5	—	—	—	0.390	0.394	0.403
ที่ 6	—	—	—	0.390	0.390	0.398
ที่ 7	—	—	—	0.390	0.386	0.394
ที่ 8	—	—	—	0.390	0.386	0.390
ที่ 9	—	—	—	0.398	0.386	0.390
ที่ 10	—	—	—	0.407	0.386	0.390
ที่ 11	—	—	—	—	0.386	0.390
ที่ 12	—	—	—	—	0.386	0.390
ที่ 13	—	—	—	—	0.386	0.390
ที่ 14	—	—	—	—	0.386	—
ที่ 15	—	—	—	—	0.386	—
ระยะห่างระหว่างไดเร็กเตอร์ (λ)	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.308
อัตราขยาย (dB_d) ที่ NBS ระบุ*	7.10	9.20	10.20	12.25	13.40	14.20
กราฟที่ใช้ในการออกแบบ (ดูรูปที่ 4)	A	C	C	B	C	D

* จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี (ดูรายละเอียดในหัวข้อ "ข้อสังเกตแห้งผลการทดลองของ NBS") พบว่าค่าอัตราขยายจริงจะต่ำกว่าค่าที่ NBS ระบุในตารางนี้เล็กน้อย

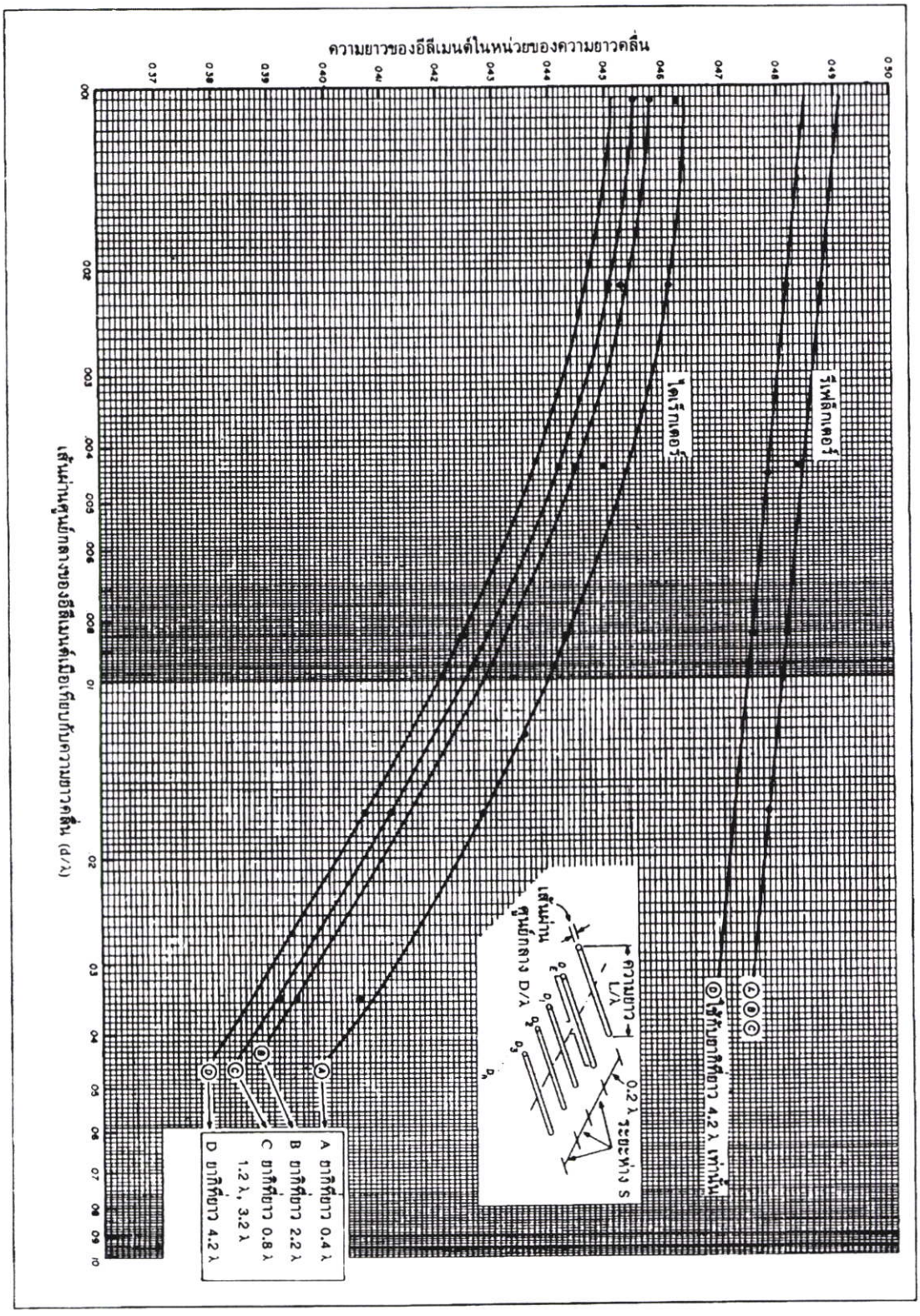
ตารางที่ ข6.1 แสดงความยาวที่เหมาะสมของแต่ละอีลีเมนต์ ทุกกรณีนี้รีเฟลกเตอร์อยู่ห่างจาก

ดริเว่นอีลีเมนต์ 0.2 λ และเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์เป็น 0.0085 λ

4. ผลของบูม ข้อมูลทั้งหลายเกี่ยวกับความยาวของแต่ละอีลีเมนต์ของ NBS ได้มาจากการทดลองบนบูมสามเหลี่ยมซึ่งทำจากฉนวนที่เรียกว่า เพลกซีกลาส จึงเสมือนหนึ่งเป็นบูมอากาศ หลังจากที่ NBS ทดลองจนได้ความยาวที่เหมาะสมแล้วจึงได้ศึกษาผลของบูมที่ใช้วัสดุต่างๆ กัน ที่ขนาดต่างๆกันด้วยในรายงานของ NBS ระบุว่าเมื่อใช้บูมเป็นไม้แล้วผลการทำงานของเสาอากาศยากที่จะทำซ้ำเดิมได้ เนื่องจากผล ของความชื้นของอากาศแม้จะทาน้ำยากันชื้นแล้วก็ตามแต่เมื่อใช้บูมเป็นโลหะแล้ว พบว่าสามารถทำซ้ำเดิมได้ง่าย เมื่อเพิ่มความยาวของทุก ๆ อีลีเมนต์ เพื่อชดเชยผลของบูมในตอนแรก ๆ ดูเหมือนว่าเพิ่มความยาวไปด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่งก็พอแล้ว แต่เมื่อลองทำการทดสอบจริง NBS พบว่าบูมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก (เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น) มีผลต่อความยาวของอีลีเมนต์น้อยกว่าบูมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่านั่นคือยิ่งบูมใหญ่ก็ต้องเพิ่มความยาวของอีลีเมนต์มากขึ้น รูปที่ ข6.4 แสดงความยาวของทุกอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้น เมื่อยึดทะลุผ่านบูมกลมขนาดต่าง ๆ กัน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 0.04 λ นอกจากนั้น NBS ยังพบอีกว่าบูมสี่เหลี่ยมและบูมกลมให้ผลเท่ากัน



รูปที่ ข6.4 กราฟแสดงความยาวของอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้นจากผลการทดลองของ NBS เมื่อยึดอีลีเมนต์ทะลุผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบูมกลมโดยสัมผัสทางไฟฟ้ากับบูมด้วย



รูปที่ ข6.5 กราฟช่วยการออกแบบสายอากาศ Yagi ของ NBS

5. ดริเว่นอีลีเมนต์และการแมทช์ ในรายงานของ NBS ระบุว่าความยาวของดริเว่นอีลีเมนต์ไม่ค่อยมีผลต่อการทำงาน (ในด้านอัตราขยายและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น) ของสายอากาศ Yagi ที่ออกแบบนี้เท่าไร ตราบใดที่ความยาวทางไฟฟ้าใกล้เคียง $\lambda/2$ และยังคงสั้นกว่ารีเฟลกเตอร์ ดังนั้น NBS จึงไม่ได้ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับความยาวที่แน่นอนของดริเว่นอีลีเมนต์ และวิธีการแมทช์มาให้ วิธีการแมทช์จะมีผลตรงที่มักจะทำให้แถบความถี่ใช้งาน (BAND WIDTH) ของสายอากาศแคบลงมากน้อยเพียงใด และบางแบบอาจมีการแผ่คลื่นออกมาด้วย หรือทำให้กระแสในแต่ละซีกของดริเว่นอีลีเมนต์ไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลให้รูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศผิดเพี้ยนไปบ้าง สำหรับการทดลองส่วนใหญ่ ของ NBS แล้ว จะใช้โฟลเดดไดโพลเป็นดริเว่นอีลีเมนต์ โดยมีโคแอกเซียลบาลัน 4:1 และมีสตับมาช่วยการแมทช์

6. ความแม่นยำในการสร้าง NBS ระบุว่าระยะและขนาดต่าง ๆ ควรผิดพลาดจากแบบไปไม่เกิน 0.003λ เพื่อได้ผลการทำงานดีอย่างที่ NBS ทดลอง เช่น ควรผิดพลาดไปไม่เกิน 0.6 เซนติเมตร สำหรับย่านความถี่ 145 MHz

2.2 ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศ Yagi ตามวิธีของ NBS

เมื่อได้ทราบผลการทดลองต่าง ๆ ของ NBS ลองมาดูจะนำข้อมูลเหล่านั้นมาออกแบบสายอากาศด้วยตนเองได้อย่างไร ขั้นตอนการออกแบบมีดังนี้

1. ขั้นแรกคือเลือกว่าอยากได้อัตราขยายเท่าไรโดยดูจาก ตารางที่ ข6.1 แล้วดูว่าที่อัตราขยายที่ต้องการนั้นต้องใช้ความยาวบูมเท่าไร สำหรับย่านความถี่ที่ต้องการใช้งานถ้าคิดว่ายาวเกินไปแก้ไขโดยลดความต้องการในด้านอัตราขยายลงเพื่อให้ความยาวของบูมสั้นลง

2. เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอีลีเมนต์ว่าจะเอาค่าใดจาก 0.001λ ถึง $0.04\ \lambda$ (เพื่อให้สามารถใช้กราฟในรูปที่ 6.5 ได้) ขนาดที่เลือกนี้ควรแข็งแรงเพียงพอ ที่จะรับน้ำหนักของตัวมันเองได้โดยไม่โก่งงอ ยิ่งอีลีเมนต์อ้วนขึ้น ก็จะยิ่งทำให้แถบความถี่ใช้งานของสายอากาศกว้างขึ้น

3. เลือกขนาดของบูมว่าจะใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเท่าไร โดยพิจารณาว่าจะต้องเข้มแข็งเพียงพอสำหรับความยาวของบูมที่ต้องการ และกำหนดวิธียึดอีลีเมนต์ด้วยว่า จะยึดลอยเหนือบูมโดยใช้ฉนวนคั่นระหว่างอีลีเมนต์และบูมหรือจะยึดทะลุสอดผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบูม (ซึ่งจะต้องชดเชยความยาวของทุกอีลีเมนต์โดยใช้กราฟในรูปที่ ข6.4)

4. หาความยาวจริงของไดเรกเตอร์และรีเฟลกเตอร์สำหรับค่า d/λ ที่ใช้จากกราฟในรูปที่ ข6.5 โดยใช้เส้นกราฟสำหรับความยาวของบูมนั้นค่าที่อ่านค่าได้โดยตรงเลยคือความยาวของรีเฟลกเตอร์และไดเรกเตอร์ตัวที่ 1 (D_1) ส่วนไดเรกเตอร์ตัวอื่น ๆ ต้องใช้วิธีเทียบระยะห่างบนกราฟที่ห่างจากตำแหน่งที่เส้น d/λ นั้น ๆ ตัดกับเส้นกราฟ ให้ห่างเท่ากับที่ตำแหน่งที่เส้น $0.0085\ \lambda$ ตัดกับเส้นกราฟห่างจากแต่ละไดเรกเตอร์ (ดูค่าจากตารางที่ ข6.1) บนเส้นกราฟแล้วจึงเทียบว่าเท่ากับความ

ยาวใด สำหรับรายละเอียดตรงนี้ขอให้ดูจากตัวอย่างการออกแบบจะเข้าใจได้ดีขึ้น

5. ในกรณีที่ยึดอีลีเมนต์ผ่านกลางบูม โดยสัมผัสทางไฟฟ้าให้เพิ่มความยาวของทุกอีลีเมนต์โดยใช้กราฟในรูปที่ ข6.4

6. เลือกวิธีการแมทช์ที่จะใช้และคำนวณความยาวของดริเว่นอีลีเมนต์จากหัวข้อถัดไป เมื่อสร้างเสร็จแล้วอาจปรับแต่งความยาวของดริเว่นอีลีเมนต์ได้อีกเล็กน้อยเพื่อให้ SWR ดีขึ้น สำหรับในการตัดความยาวขั้นต้น อาจตัดความยาวของดริเว่นอีลีเมนต์ให้ยาวประมาณ 0.466 λ ก่อน (ซึ่งเทียบเท่ากับใช้ ตัวคูณ k เป็นประมาณ 0.93 ก่อน) แล้วจึงค่อยมาตัดให้สั้นลง หรือเพิ่มความยาวขึ้นเล็กน้อยในขณะ ปรับแต่ง SWR

2.3 ดริเว่นอีลีเมนต์ และการแมทช์แบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้กันกับสายอากาศ Yagi

1) สปลิตไดโพล

ในรูปที่ ข6.6 (ก) เป็นดริเว่นอีลีเมนต์แบบพื้นฐานที่สุดคือเป็นฮาร์ฟเวฟไดโพลที่แยกตรงกลางของไดโพลออก เพื่อให้เป็นจุดต่อสำหรับสายนำสัญญาณแบบนี้มีข้อเสียอยู่ตรงที่ ตัวไดโพลจะมาสัมผัสทางไฟฟ้ากับตัวบูมไม่ได้ จึงต้องมีฉนวนมาคั่นนอกจากนั้นแล้ว ถ้าใช้สปลิตไดโพลอย่างเดียว จะให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศยากิออกมาต่ำไป (อยู่ในช่วงประมาณ 15 ถึง 25 โอห์ม) จึงต้องใช้วิธีการแมตช์อย่างอื่นมาช่วยยกอิมพีแดนซ์ให้สูงขึ้นสอดคล้องกับสายนำสัญญาณที่ใช้

2) โฟลเดดไดโฟล

ในรูปที่ ข6.6 (ข) เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาบางอย่างของสปลิตไดโพลได้ โดยจะช่วยยกอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ Yagi ให้ขึ้นมาเป็นประมาณ 4 เท่าของวิธีที่ใช้สปลิตไดโพล จึงอาจใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นจุดกลางของด้านที่อยู่ตรงข้ามกับจุดต่อสายสามารถยึดเข้ากับบูมได้เลยโดยตรง การยึดติดจึงง่ายขึ้นข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือ โฟลเดดไดโพลจะให้แถบความถี่ใช้งาน (BAND WIDTH) ได้กว้างกว่าสปลิตไดโพลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอีลีเมนต์เท่ากัน ในบางกรณีที่การเพิ่มอิมพีแดนซ์ของโฟลเดดไดโพลธรรมดายังไม่เหมาะสมกับสายนำสัญญาณที่ใช้ ก็อาจเปลี่ยนเป็นโฟลเดดไดโพลอย่างในรูปที่ ข6.6 (ค) ซึ่งสามารถจัดอิมพีแดนซ์ให้ตรงตามความต้องการได้ดีขึ้น โดยให้ด้านที่เป็นจุดต่อสายมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างจากด้านตรงข้าม (โดยทั่วไปมักจะให้มีขนาดเล็กกว่า) การเปลี่ยนระยะห่าง (S) หรือการเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง (d_1/d_2) จะช่วยให้สามารถแมตช์อิมพีแดนซ์เข้ากับสายนำสัญญาณต่าง ๆ ได้

อย่างไรก็ตาม พบความไม่สะดวกในการใช้โฟลเอดไดโพลทั้งในรูปที่ ข6.6 (ข) และ ข6.6 (ค) เมื่อใช้กับย่านความถี่ที่สูงกว่า 220 MHz จึงได้ใช้วิธีการดัดแปลงเป็นโครงสร้างใหม่ดังรูปที่ ข6.6 (ง) ส่วนที่เป็น d_2 อาจใช้แผ่นโลหะแบนมาทำก็ได้

โฟลเดดไดโพลทั้งแบบธรรมดาและแบบดัดแปลงที่กล่าวมานี้ สามารถใช้งานได้ดีและเหมาะที่จะใช้กับสายนำสัญญาณแบบบาลานซ์ที่นิยมใช้กัน (ที่มีอิมพีแดนซ์ 200 ถึง 300 โอห์ม) เมื่อทดลองจนแมทช์ได้เรียบร้อยแล้ว ก็สามารถนำมาสร้างตามสำหรับต้นอื่น ๆ ได้ง่าย ข้อเสียที่สำคัญ คือ กว่า

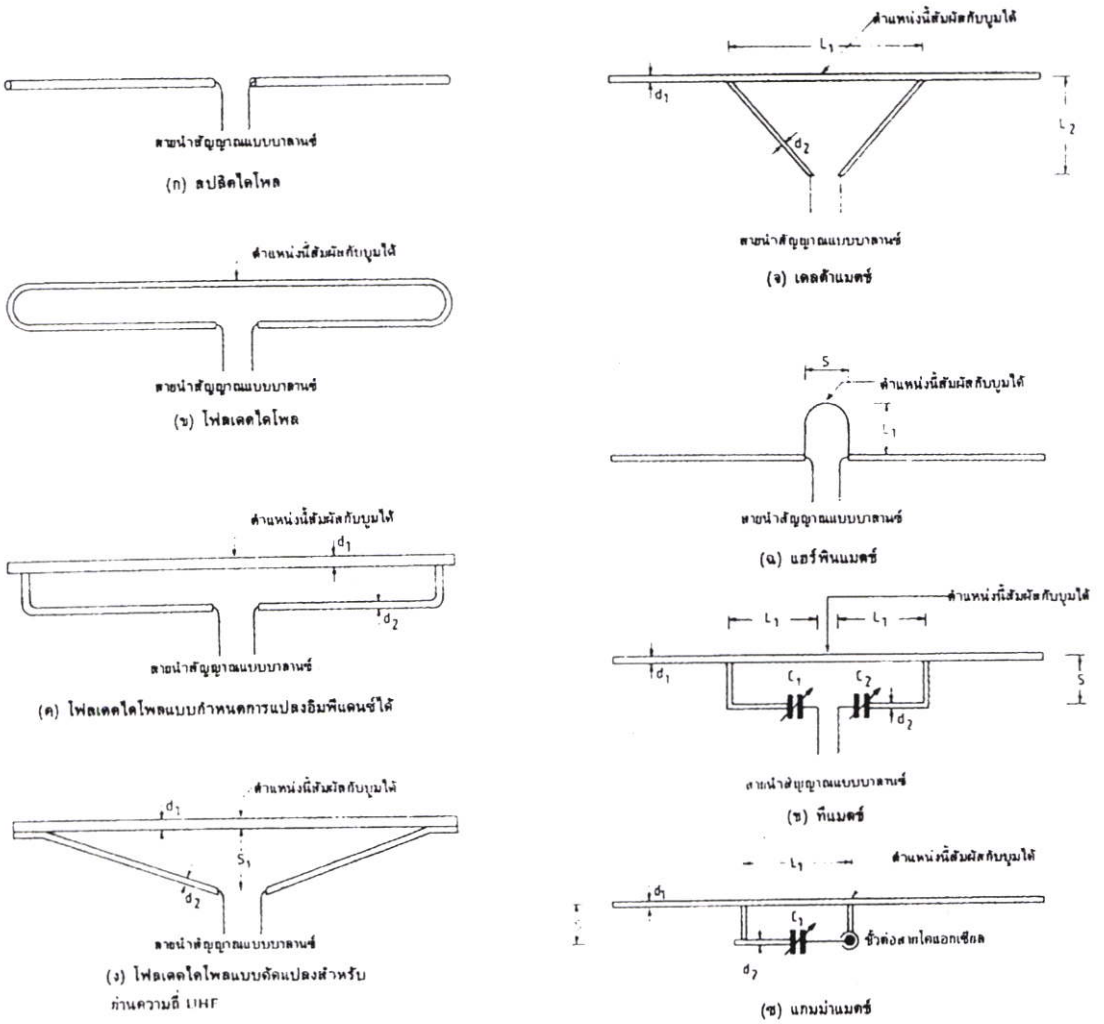
จะแมทช์ต้นแรกได้ ต้องใช้วิธีลองเปลี่ยนขนาดโครงสร้างที่ง่ายขึ้น คือ เดลต้าแมทช์ ดังรูปที่ ข6.6 (จ) เดลต้าแมทช์นั้นสร้างได้ง่าย อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อสายขึ้นกับความยาว L_1 และ L_2 หรืออัตราส่วน d_1/d_2 แต่ถ้า L_1 และ L_2 ยาวมากหน่อยเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น อาจมีการแผ่คลื่นออกมาบ้าง ทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง และเพิ่มคลื่นด้านข้างให้มากขึ้น

3) แฮร์พินแมทช์

ในรูปที่ ข6.6 (ฉ) เป็นวิธีการแมทช์อีกแบบหนึ่งที่สร้างได้ง่ายใช้ร่วมกับสปลิตไดโพลแฮร์พิน ซึ่งหน้าตาเป็นรูปตัวยู มาต่อคร่อมจุดต่อสาย ทำหน้าที่เป็นอินดักตีฟรีแอกแตนซ์เพื่อช่วยยกอิมพีแดนซ์เดิมของสายอากาศยากิให้สูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงต้องตัดดริเว่นอีลีเมนต์ให้สั้นกว่า ความยาวรีโซแนนซ์เล็กน้อยให้เกิดค่าปาซิตีฟรีแอกแตนซ์เพื่อมาชดเชยกับค่าอินดักตีฟรีแอกแตนซ์ที่เพิ่มเข้ามานี้ อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อสายขึ้นกับระยะห่าง S และความยาว L_1

รูปที่ ข6.6 (ช) เป็นวิธีที่เรียกว่า ทีแมทช์ ทำงานคล้ายกับเดลต้าแมทช์แต่มีปัญหาการแผ่คลื่นน้อยกว่ามาก การปรับอิมพีแดนซ์ทำได้โดยเปลี่ยนค่า L_1 และ S อัตราส่วน d_1/d_2 ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ทำหน้าที่หักล้างค่าอินดักตีฟรีแอกแตนซ์ที่เหลืออยู่ของส่วนที่เป็น d_2 ในบางกรณีถ้าลดความยาวของดริเว่นอีลีเมนต์ลงเล็กน้อย ก็อาจทำให้ไม่ต้องใช้ C_1 และ C_2 ได้ ข้อเสียที่สำคัญของทีแมทช์ คือ การใช้ตัวเก็บประจุ (ถ้าใช้) ซึ่งอาจทำให้กำลังส่งและสภาพความชื้นของอากาศมีผลต่อการทำงาน นอกจากนั้น โครงสร้างของทีแมทช์อาจไม่สะดวกในการสร้างสำหรับย่านความถี่ที่สูงกว่า 450 MHz

วิธีสุดท้ายที่ขอแนะนำในที่นี้ คือแกมม่าแมทช์ ในรูปที่ ข6.6 (ซ) ซึ่งเป็นแบบลดรูปของทีแมทช์ คือมีเพียงครึ่งเดียวของทีแมทช์ การแมทช์แบบนี้เหมาะสำหรับใช้กับสายโคแอกเซียลโดยตรง โดยไม่ต้องใช้บาลันช่วยเหมือนการแมทช์โดยวิธีอื่น ทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วเรียกว่าใช้กับสายนำสัญญาณแบบไม่บาลานซ์ได้โดยตรง ข้อเสียของแกมม่าแมทช์เป็นเช่นเดียวกับทีแมทช์ คือ มีการใช้ตัวเก็บประจุ และมีความยุ่งยากด้านโครงสร้าง ในบางกรณีอาจหลีกเลี่ยงการใช้ตัวเก็บประจุโดยตรงได้ โดยใช้สายโคแอกเซียลสั้น ๆ ที่ถอดเอาชีลด์และฉนวนหุ้มภายนอกออกหมด (เหลือแต่ลวดตัวนำตรงกลาง และไดอิเล็กทริก)มาสอดในท่อ d_2 ซึ่งมีขนาดพอดีกับสายปลายลวดตัวนำตรงกลางที่โผล่ออกมาจากท่อจะเป็นขั้วสำหรับต่อกับลวดตัวนำตรงกลางของสายโคแอกเซียลที่จะไปหาเครื่องรับ/ส่งวิทยุ ตัวท่อ d_2 และลวดตัวนำตรงกลางของสายโคแอกเซียลจะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุ C_1 การปรับค่า C_1 ทำได้โดยการปรับความยาวของสายโคแอกเซียลสั้นๆนี้ เมื่อปรับแต่งเสร็จก็หาทางป้องกันไม่ให้น้ำ และความชื้นเข้าไปยุ่งกับสายโคแอกเซียลสั้น ๆ เส้นนี้ วิธีนี้จะช่วยลดผลของกำลังส่งและความชื้นลงได้

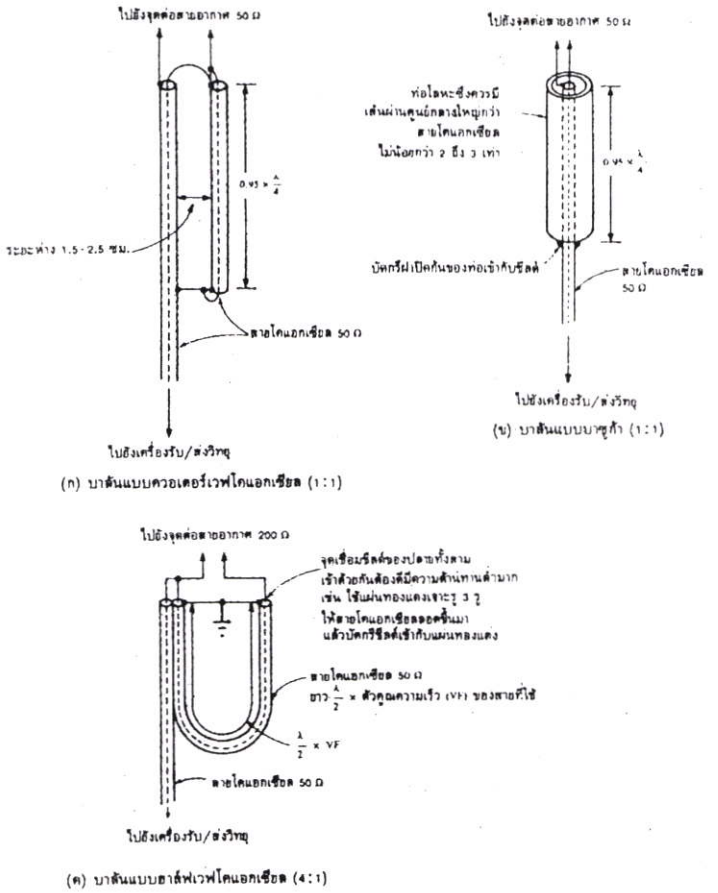


รูปที่ ข6.6 แสดงดริเว่นอีลีเมนต์และวิธีการแมทช์แบบต่างๆที่นิยมใช้กับสายอากาศ Yagi

วิธีการแมทช์ทั้งหมดที่กล่าวมายกเว้นแบบแกมม่าแมทช์ เป็นแบบบาลานซ์สายนำสัญญาณที่มาต่อด้วยจึงต้องเป็นแบบบาลานซ์ด้วย ถ้าเอาสายนำสัญญาณแบบไม่บาลานซ์ (เช่น สายโคแอกเซียล) มาต่อโดยตรง อาจมีการแผ่คลื่นออกมาจากสาย ซึ่งอาจทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นผิดเพี้ยนไป และอาจทำให้อัตราขยายของสายอากาศลดลง ดังนั้นในทางปฏิบัติที่นิยมใช้สายนำสัญญาณ แบบโคแอกเซียล จึงต้องมีบาลัน มาต่อคั่นระหว่างสายโคแอกเซียลและสายอากาศเพื่อทำการบีบไม่ให้มีกระแสไหลที่ผิวนอกของสายชีลด์ โดยทั่วไปเรานิยมใช้วิธีการแมทช์แบบบาลานซ์เหล่านี้ยกอิมพีแดนซ์ของสายอากาศขึ้น เป็นประมาณ 200โอห์ม แล้วใช้บาลันซ์แบบ 4:1 มาแปลงอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกเซียล 50 โอห์ม ให้ขึ้นมาเป็น 200 โอห์ม แบบบาลานซ์ เพื่อให้แมตช์กับสายอากาศพอดี

ส่วนแบบแกมม่าแมทช์นั้นมักจะถูกใช้เพื่อยกอิมพีแดนซ์ขึ้นมาเป็น 50โอห์ม เพื่อใช้กับสายโคแอกเซียล 50 โอห์มโดยตรง รูปที่ ข6.7 แสดงหน้าตาของบาลันแบบต่าง ๆ ที่สร้างได้ง่ายและนิยมใช้กัน

ในทางปฏิบัติ อาจดูแนวทางว่าขนาดและระยะต่าง ๆ ของการแมทช์แบบต่าง ๆ เป็นอย่างไรได้จากสายอากาศอื่นที่มีขนาดใกล้เคียงกันสำหรับย่านความถี่ที่ต้องการ แล้วลองเอาขนาดและระยะต่าง ๆ นั้นมาเป็นจุดเริ่มต้นในการสร้างแล้วจึงปรับแต่งจนกระทั่งได้ค่า SWR ต่ำที่สุด



รูปที่ ข6.7 แสดงรายละเอียดของบาลันแบบต่าง ๆ ที่สร้างได้ง่าย และนิยมใช้กันสำหรับระบบอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

ตัวอย่างการออกแบบ

สมมติว่าต้องการออกแบบสายอากาศ Yagi ตามแบบของ NBS ให้ได้อัตราขยาย 10.2 dB_d ที่มีความถี่กลาง 50.1 MHz โดยใช้อีลีเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มม. ติดบนฉนวนเหนือบูม บูมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง38 มม. ด้วยอัตราขยายค่านี้คือการออกแบบสำหรับบูมยาว 1.2 λ นั่นเอง

หาความยาวคลื่นได้ดังนี้

$$\lambda = \frac{29980}{f(MH_Z)} \quad \text{ซม.}$$

$$= \frac{29980}{50.1} = 598.4 \text{ ซม.}$$

$$\therefore d/\lambda = \frac{1.3}{598.4} = 0.0021\lambda$$

จากตารางที่ ข6.1 สำหรับบูมยาว 1.2 λ และ $d/\lambda = 0.0085\lambda$ ตามที่ NBS ทดลอง จะได้

$L_R = 0.482\lambda$

$L_{D1} = L_{D4} = 0.428\lambda$

$L_{D2} = L_{D3} = 0.420\lambda$

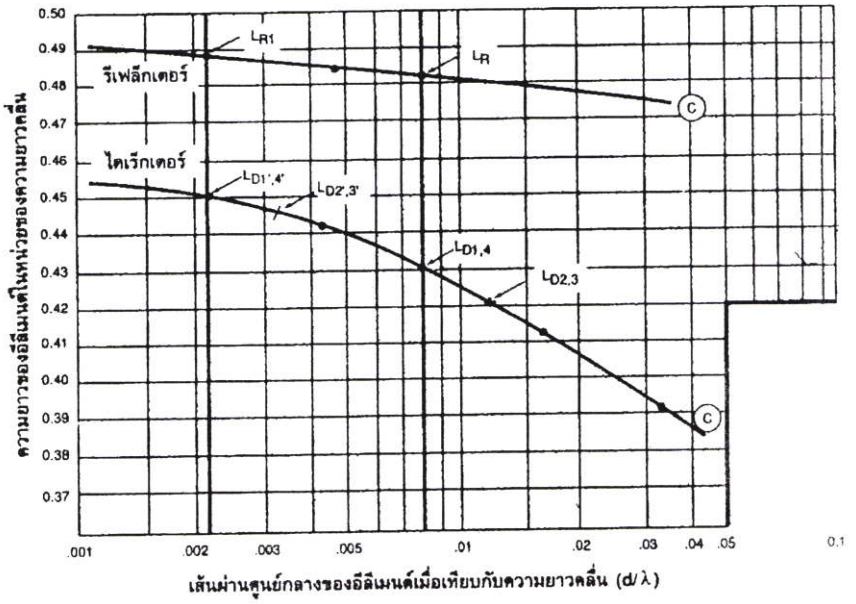
ลากเส้นดิ่งจาก $d/\lambda = 0.0085\lambda$ ขึ้นไปตัดกับเส้นกราฟ ของทั้งรีเฟลกเตอร์และไดเรกเตอร์ (ก็คือ จุดที่ $L_R = 0.482\lambda$ และ $L_{D1} = 0.428\lambda$ ตามที่แสดงในตารางที่ ข6.1 นั่นเอง) ลากเส้นนอนจากความยาวอีลีเมนต์ 0.420 λ ของ L_{D2} และ L_{D3} มาตัดกราฟ C ของไดเรกเตอร์ จะได้ตำแหน่ง L_{D2} และ L_{D3} บนเส้นกราฟ

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเราต้องการให้ d/λ เป็น 0.0021 λ ดังนั้น ให้ลากเส้นดิ่งจาก d/λ เป็น 0.0021 λ ขึ้นไปสัมผัสกับกราฟ C จะได้ความยาว $L_{R'}$ และ $L_{D1',4'}$ (เพราะ $L_{D4} = L_{D1}$) ซึ่งเป็นความยาวของรีเฟลกเตอร์ และ D_1 สำหรับ d/λ เป็น 0.0021 λ ต่อไปเป็นการหาตำแหน่งของ L_{D2} และ $L_{D3'}$ สำหรับ d/λ เป็น 0.0021 λ วิธีการหาให้เริ่มต้นหาว่าตำแหน่ง L_{D2} และ L_{D3} อยู่ห่างจากตำแหน่ง L_{D1} บนกราฟอยู่เท่าไร ด้วยการใช้วงเวียนวัดระยะ $L_{D1,4}$ และ $L_{D2,3}$ แล้วจึงย้ายมาที่ตำแหน่ง $L_{D1'}$ โดยให้ปลายหนึ่งปักที่ $L_{D1'}$ แล้วดูว่าวงเวียนนั้นตัดเส้นกราฟ C สำหรับ ไดเรกเตอร์ที่ตำแหน่งใด ตำแหน่งนั้นคือ $L_{D2',3'}$ (ดูรูปที่ ข6.8) ลากเส้นนอนจาก $L_{R'}$, $L_{D1',4'}$ และ $L_{D2',3'}$ ไปพบกับแกนความยาวของอีลีเมนต์ทางซ้ายมือสุด ก็จะได้ว่า

$L_{R'} = 0.488\lambda$

$L_{D1'} = L_{D4'} = 0.451\lambda$

$L_{D2'} = L_{D3'} = 0.446\lambda$



รูปที่ ข6.8 แสดงการใช้กราฟช่วยการออกแบบสายอากาศ Yagi ตามตัวอย่างที่ 1 เพื่อให้ได้ สายอากาศ 6 E สำหรับความถี่ 50.1 MHz บนบูมยาว 1.2 λ

เนื่องจากทุกอีลีเมนต์ไม่ได้สัมผัสทางไฟฟ้ากับบูมเลย จึงไม่ต้องมีการชดเชยความยาวใด ๆ เราก็จะได้ความยาวจริงของแต่ละอีลีเมนต์เป็นดังนี้

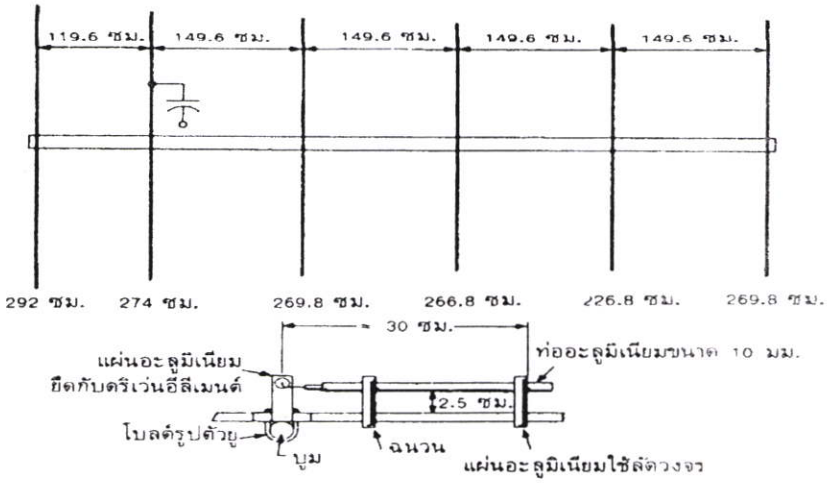
รีเฟลกเตอร์	=	0.488 λ
	=	292.0 ซม.
ไดเรกเตอร์ 1	=	0.451 λ
	=	269.8 ซม.
ไดเรกเตอร์ 2	=	0.446 λ
	=	266.8 ซม.
ไดเรกเตอร์ 3	=	0.446 λ
	=	266.8 ซม.
ไดเรกเตอร์ 4	=	0.451 λ
	=	269.8 ซม.

ความยาวของดริเว่นอีลีเมนต์โดยประมาณหาได้จาก

L_{DE} = 0.466 λ

= 278.9 ซม.

ระยะห่างต่าง ๆ ระหว่างแต่ละอีลีเมนต์ได้มาจากตารางที่ ข6.1 สำหรับสายอากาศต้นนี้เลือกใช้วิธีการแมทช์เป็นแบบแกมม่าแมทช์โดยใช้สายโคแอกเซียลมาทำเป็นตัวเก็บประจุ หลังจากสร้างเสร็จแล้วได้ตัดความยาวของดริเว่นอีลีเมนต์ลงเหลือ 274 ซม. เพื่อให้ได้ค่า SWR ที่ดีขึ้น ผลลัพธ์ทั้งหมดแสดงในรูปที่ ข6.9



รูปที่ ข6.9 แสดงผลการออกแบบสายอากาศ Yagi 6 E

สำหรับความถี่ 50.1 MHz บนบูม 1.2 λ

	ใบงาน	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 6
	ชื่อหน่วย การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi	
เรื่อง/งาน การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi		จำนวนคาบ 4

1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 นักศึกษาสามารถออกแบบสายอากาศแบบ Yagi ให้มีค่า Resonance ตรงกับความถี่ใช้งาน

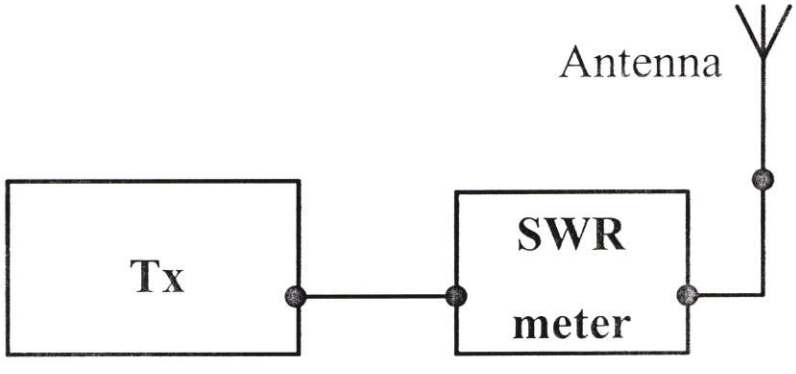
1.2 นักศึกษาสามารถหา Pattern ของสายอากาศแบบ Yagi ได้อย่างถูกต้อง

1.3 นักศึกษาสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และแก้ปัญหาร่วมกันได้

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติ

2.1 เส้นสแตนเลทขนาด 3 mm.	1	ชุด
2.2 เครื่องส่งย่านความถี่ VHF (245 MHz)	1	เครื่อง
2.3 เครื่องวัด SWR มิเตอร์	1	เครื่อง
2.4 กล่องเครื่องมือ	1	ชุด

3. ลำดับขั้นการปฏิบัติ



3.1 ออกแบบสายอากาศแบบ Yagi 5E ความถี่ใช้งาน 245 MHz ตามใบความรู้ที่ 6 แล้วนำมาต่อตามรูป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

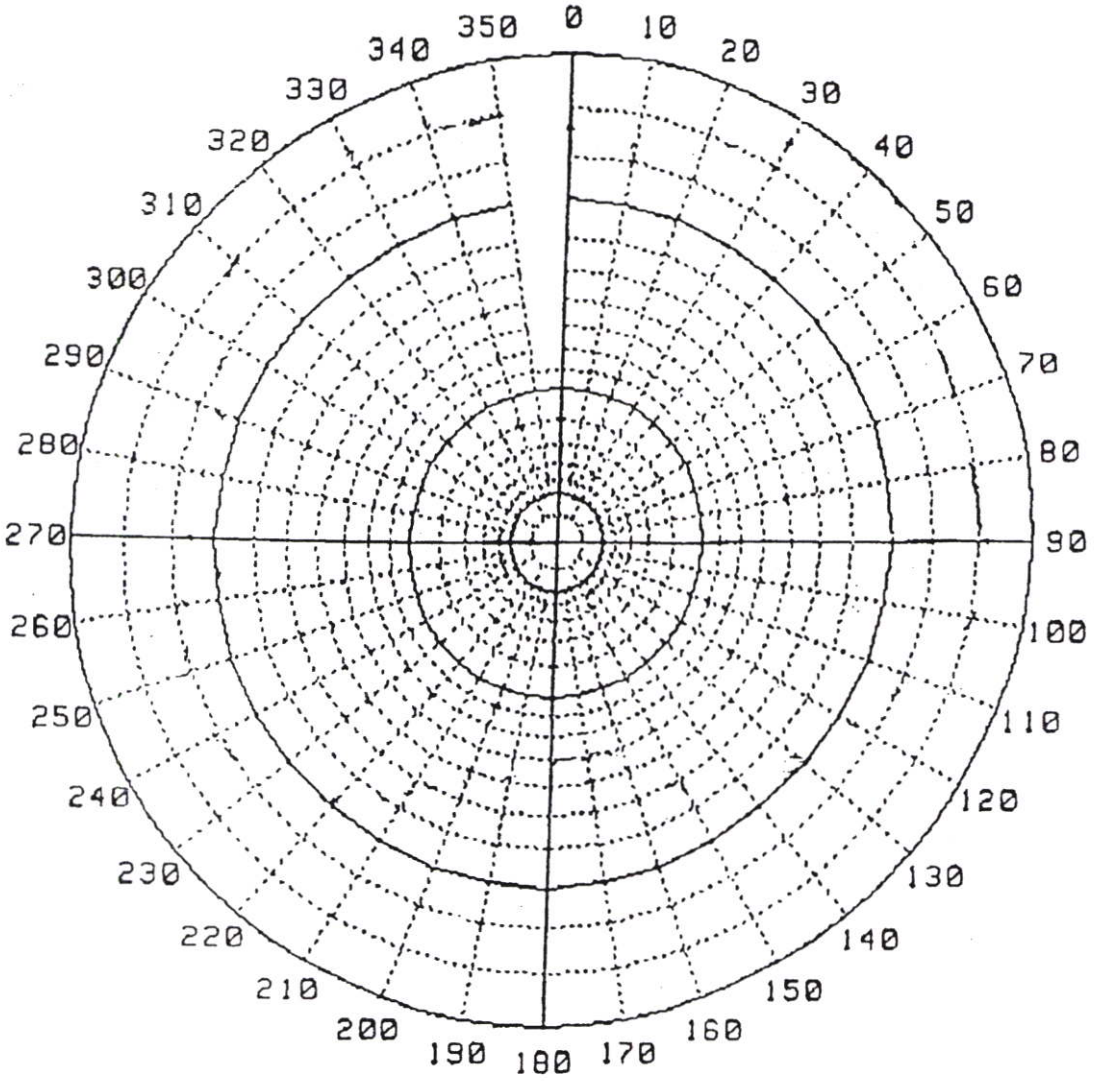
.....

3.2 ใช้ SWR มิเตอร์วัดหาค่า SWR อ่านค่าจากหน้าปัดได้ ..... **:1**

3.3 ปรับสายอากาศไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(ทางขวา)ครั้งละ10องศาบันทึกค่าลงในตารางจนครบ 360 องศา (5)

องศา	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Gainการรับ												
องศา	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
Gainการรับ												
องศา	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360
Gainการรับ												

3.4 นำค่าจากตารางบันทึกลงกราฟ เพื่อหา Pattern ของสายอากาศ (5)



4. ปัญหา

4.1 ถ้าต้องการให้ได้ค่า SWR มีค่าใกล้เคียง 1:1 จะแก้ไขได้ด้วยวิธีใด เพราะเหตุใด (5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. สรุปผลการทดลอง (5)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

	แบบประเมิน	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 6
	ชื่อหน่วย การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi	
เรื่อง/งาน การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi		จำนวนคาบ 4

ใช้ข้อความต่อไปนี้ตอบคำถามข้อที่ 1-4

ก) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำหน้าที่สะท้อนคลื่นด้านหลังให้ดริเว่นอิลีเมนท์และป้องกันการรับคลื่นจากทางด้านหลังของสายอากาศด้วย

ข) เป็นจุดฟีดของสายอากาศที่ทำหน้าที่ในการรับหรือส่งคลื่นให้กับเครื่องรับส่งให้ทำงาน

ค) เป็นตัวรับสัญญาณส่วนหน้าของสายอากาศให้มีค่า Directivity มากขึ้นและเพิ่ม Gain ของสายอากาศให้มากขึ้น ถ้าจัดระยะห่างให้พอเหมาะ

ง) ทำให้สายอากาศรับกำลังงานจากเครื่องส่งได้มากขึ้น

1. ข้อใดคือหน้าที่ของดริเว่นอิลีเมนท์ของสายอากาศแบบ Yagi
2. ข้อใดคือหน้าที่ของรีเฟลกเตอร์อิลีเมนท์ของสายอากาศแบบ Yagi
3. ข้อใดคือหน้าที่ของไดเรกเตอร์อิลีเมนท์ของสายอากาศแบบ Yagi
4. ข้อใดคือหน้าที่ของสตับการทำงานระหว่างสายส่งกับสายอากาศ

5. ถ้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโลหะที่ใช้ทำไดเรกเตอร์มีค่ามากขึ้นจะมีผลตามข้อใด

ก. ค่า Z_L มากขึ้น

ข. Gain การขยายมากขึ้น

ค. Band Width มากขึ้น

ง. ความยาวของท่อลดลงเพื่อให้ค่าอื่นคงที่

ความยาวของบูม (λ)	0.4	0.8	1.2	2.2	3.2	4.2
จำนวนอีลีเมนต์ทั้งหมด	3	5	6	12	17	15
ความยาวของรีเฟลกเตอร์ (λ)	0.482	0.482	0.482	0.482	0.482	0.475
ความยาวของไดเร็กเตอร์ที่ 1	0.442	0.428	0.428	0.432	0.428	0.424
ที่ 2	—	0.424	0.420	0.415	0.420	0.424
ที่ 3	—	0.428	0.420	0.407	0.407	0.420
ที่ 4	—	—	0.428	0.398	0.398	0.407
ที่ 5	—	—	—	0.390	0.394	0.403
ที่ 6	—	—	—	0.390	0.390	0.398
ที่ 7	—	—	—	0.390	0.386	0.394
ที่ 8	—	—	—	0.390	0.386	0.390
ที่ 9	—	—	—	0.398	0.386	0.390
ที่ 10	—	—	—	0.407	0.386	0.390
ที่ 11	—	—	—	—	0.386	0.390
ที่ 12	—	—	—	—	0.386	0.390
ที่ 13	—	—	—	—	0.386	0.390
ที่ 14	—	—	—	—	0.386	—
ที่ 15	—	—	—	—	0.386	—
ระยะห่างระหว่างไดเร็กเตอร์ (λ)	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.308
อัตราขยาย (dB_d) ที่ NBS ระบุ*	7.10	9.20	10.20	12.25	13.40	14.20
กราฟที่ใช้ในการออกแบบ (ดูรูปที่ 4)	A	C	C	B	C	D

* จากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี (ดูรายละเอียดในหัวข้อ "ข้อดังเกตแก้ไขผลการทดลองของ NBS") พบว่าค่าอัตราขยายจริงจะต่ำกว่าค่าที่ NBS ระบุในตารางนี้เล็กน้อย

6. ออกแบบสายอากาศ Yagi ขนาด 3E ตามแบบของ NBS ให้ได้อัตราขยาย 7.10 dB_d มีความถี่กลาง 150 MHz ใช้อิลีเมนท์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 มม. ติดบนฉนวนเหนือบูม บูมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 มม. ยาว 0.4 λ สายนำสัญญาณใช้สายRG 58A/U d/λ มีค่าเท่าใด

ก. 0.053

ข. 0.0053

ค. 0.0065

ง. 0.0048

7. จากข้อ 6 ความยาวของรีเฟลกเตอร์มีค่าตรงกับข้อใด

ก. 90.32 ซม.

ข. 96.33 ซม.

ค. 97.5 ซม.

ง. 120 ซม.

8. จากข้อ 6 ความยาวของไดเรกเตอร์มีค่าตรงกับข้อใด

ก. 88.33 ซม.

ข. 98.33 ซม.

ค. 99.33 ซม.

ง. 109.33 ซม.

9. จากข้อ 6 ดริเว่นอิลีเมนท์มีความยาวทางไฟฟ้าเท่าใด

ก. 90.00 ซม.

ข. 93.13 ซม.

ค. 96.00 ซม.

ง. 98.72 ซม.

10. จากข้อ 6 ถ้าต้องการให้การส่งผ่านกำลังงานได้สูงสุด ควรใช้การแมทช์แบบใด

ก. ทีแมทช์

ข. เดลต้าแมทช์

ค. แกมม่าแมทช์

ง. แฮร์พินแมทช์

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ใบงานหน่วยที่ 6 การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI

ชื่อผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	ระดับคะแนน				
	ควรปรับปรุง(1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI (30 คะแนน)					
1.1 ความถูกต้องในการออกแบบ (15)	3	6	9	12	15
1.2 เวลาในการออกแบบ (5)	1	2	3	4	5
1.3 แบบประเมินหน่วยที่ 6 (10)	2	4	6	8	10
(2) การสร้างสายอากาศแบบ YAGI (30 คะแนน)					
2.1 การเตรียมเครื่องมือ (5)	1	2	3	4	5
2.2 การใช้เครื่องมือในการสร้าง (5)	1	2	3	4	5
2.3 ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน (5)	1	2	3	4	5
2.4 ประสิทธิภาพการใช้งาน (10)	2	4	6	8	10
2.5 เวลาในการสร้าง (5)	1	2	3	4	5
(3) การทดสอบสายอากาศแบบ YAGI (20 คะแนน)					
3.1 ความถูกต้องของการใช้เครื่องมือทดสอบ (10)	2	4	6	8	10
3.2 ขั้นตอนการตรวจสอบ (10)	2	4	6	8	10
(4) การปรับแต่งสายอากาศแบบ YAGI (20 คะแนน)					
4.1 ความถูกต้องในการปรับแต่ง (10)	2	4	6	8	10
4.2 ประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับแต่ง(10)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ภาคทฤษฎี 30 % คือ..... ภาคปฏิบัติ 70 % คือ.....				

ผู้ประเมิน..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

	แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ในการเรียนสุดท้าย	
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	
	ชื่อหน่วย การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi	
เรื่อง/งาน การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi		จำนวนคาบ 4

1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

1.1 นักศึกษาสามารถออกแบบสายอากาศแบบ Yagi ให้มีค่า Resonance ตรงกับความถี่ใช้งาน

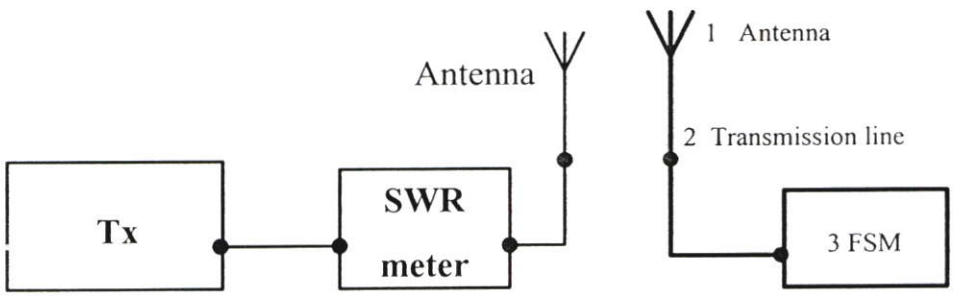
1.2 นักศึกษาสามารถหา Pattern ของสายอากาศแบบ Yagi ได้อย่างถูกต้อง

1.3 นักศึกษาสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และแก้ปัญหาร่วมกันได้

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติ

2.1 เส้นสแตนเลทขนาด 2.5 mm.	1	ชุด
2.2 เครื่องส่งย่านความถี่ VHF (245-246 MHz)	1	เครื่อง
2.3 เครื่องวัด SWR มิเตอร์	1	เครื่อง
2.4 กล่องเครื่องมือ	1	ชุด

3. ลำดับขั้นการปฏิบัติ



3.1 ออกแบบสายอากาศแบบ Yagi 5E ความถี่ใช้งาน 245-246 MHz แล้วนำมาต่อตามรูป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

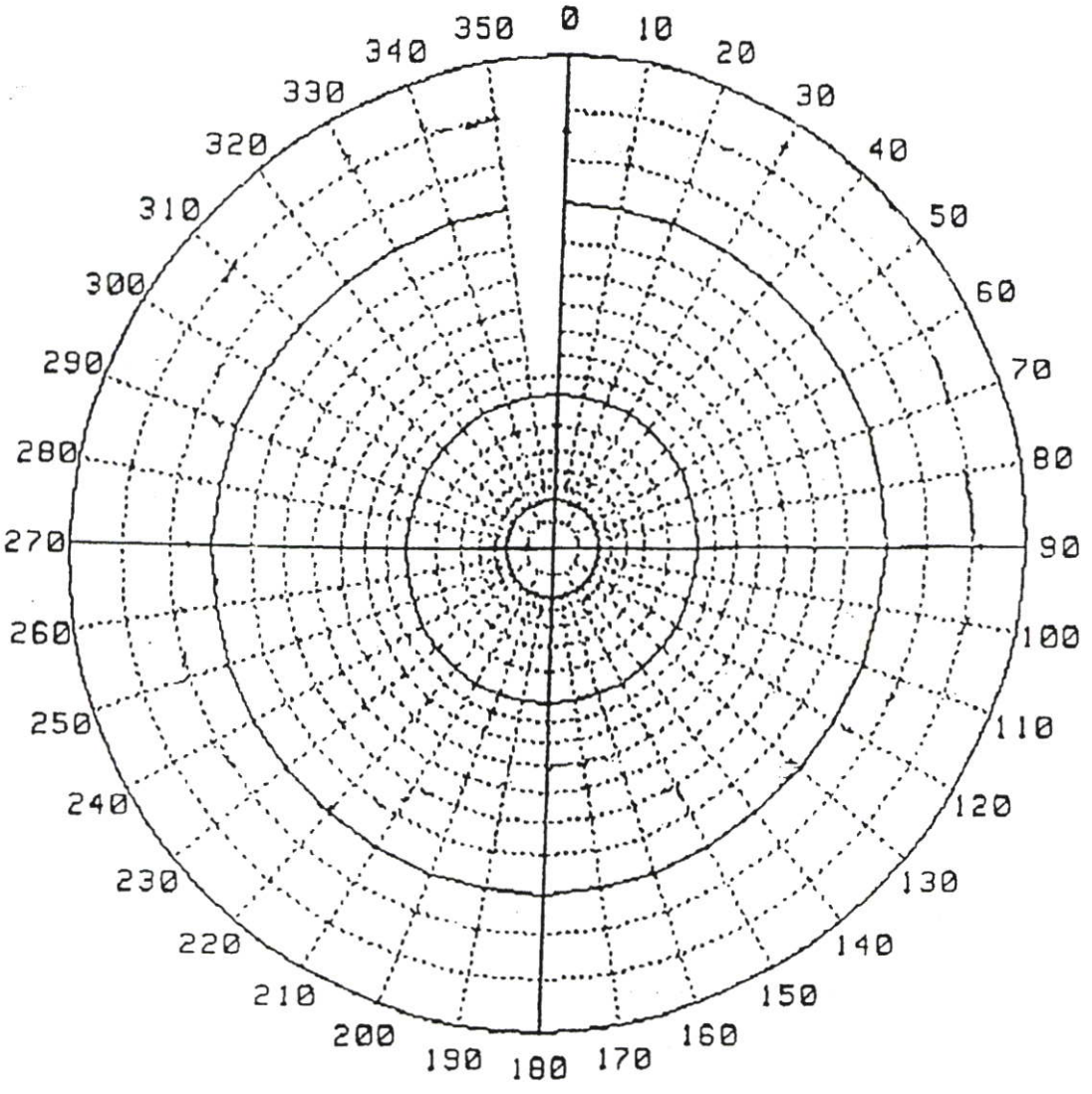
.....

3.2 ใช้ SWR มิเตอร์วัดหาค่า SWR อ่านค่าจากหน้าปัดได้ ..... **:1**

3.3 ปรับสายอากาศไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(ทางขวา)ครั้งละ10องศาบันทึกค่าลงในตาราง จนครบ 360 องศา (5)

องศา	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Gainการรับ												
องศา	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
Gainการรับ												
องศา	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360
Gainการรับ												

3.4 นำค่าจากตารางบันทึกลงกราฟ เพื่อหา Pattern ของสายอากาศ (5)



4. ปัญหา

4.1 ถ้าต้องการให้ได้ค่า SWR มีค่าใกล้เคียง 1:1 จะแก้ไขได้ด้วยวิธีใด เพราะเหตุใด (5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. สรุปผลการทดลอง (5)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

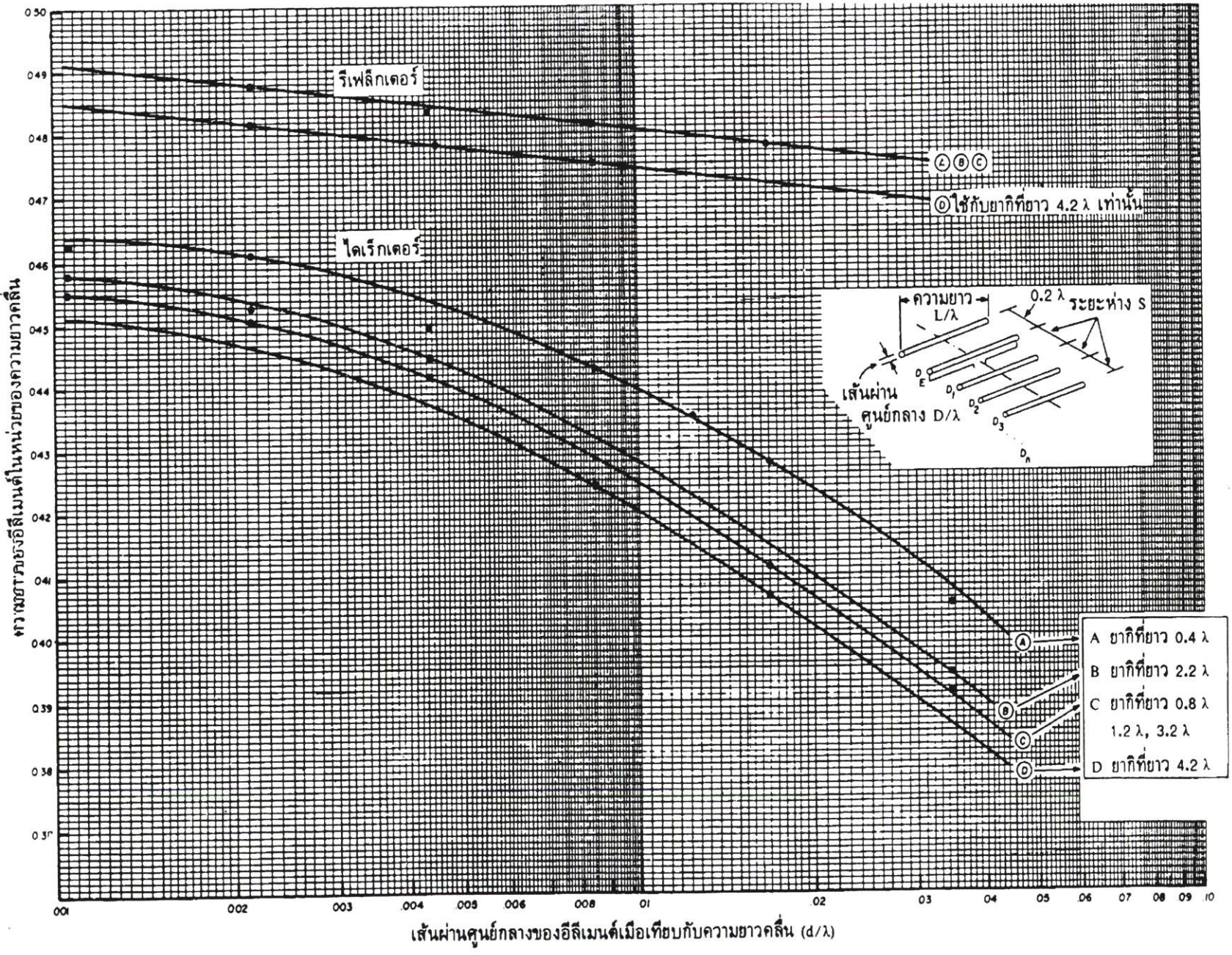
.....

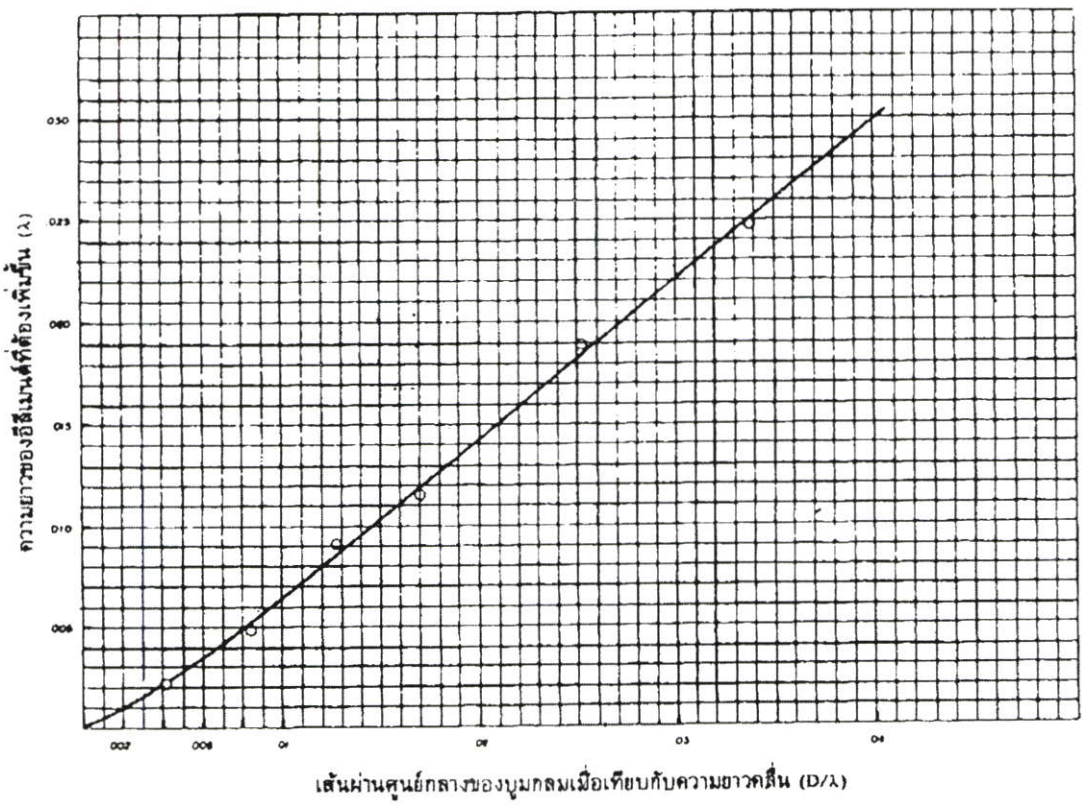
.....

.....

.....

.....


รีเฟล็กเตอร์
ไดเร็กเตอร์
ABC
D ใช้กับยากิที่ยาว 4.2 λ เท่านั้น
ความยาว L/λ
0.2 λ ระยะห่าง S
เส้นผ่านศูนย์กลาง D/λ
A ยากิที่ยาว 0.4 λ
B ยากิที่ยาว 2.2 λ
C ยากิที่ยาว 0.8 λ 1.2 λ, 3.2 λ
D ยากิที่ยาว 4.2 λ
ความยาวของอีลีเมนต์ในหน่วยของความยาวคลื่น
เส้นผ่านศูนย์กลางของอีลีเมนต์เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น (d/λ)


ความยาวของอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้น (λ)
0.50
0.25
0.00
0.5
0.10
0.05
0.02
0.04
0.1
0.3
0.4
เส้นผ่านศูนย์กลางของบูมกลมเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น (D/λ)

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย

การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI

ชื่อผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

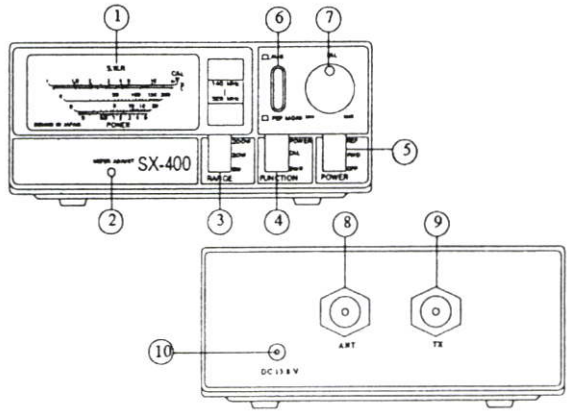
หัวข้อให้คะแนน	ระดับคะแนน				
	ควรปรับปรุง(1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI (30 คะแนน)					
1.1 ความถูกต้องในการออกแบบ (25)	5	10	15	20	25
1.2 เวลาในการออกแบบ (5)	1	2	3	4	5
(2) การสร้างสายอากาศแบบ YAGI (30 คะแนน)					
2.1 การเตรียมเครื่องมือ (5)	1	2	3	4	5
2.2 การใช้เครื่องมือในการสร้าง (5)	1	2	3	4	5
2.3 ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน (5)	1	2	3	4	5
2.4 ประสิทธิภาพการใช้งาน (10)	2	4	6	8	10
2.5 เวลาในการสร้าง (5)	1	2	3	4	5
(3) การทดสอบสายอากาศแบบ YAGI (20 คะแนน)					
3.1 ความถูกต้องของการใช้เครื่องมือทดสอบ (10)	2	4	6	8	10
3.2 ขั้นตอนการตรวจสอบ (10)	2	4	6	8	10
(4) การปรับแต่งสายอากาศแบบ YAGI (20 คะแนน)					
4.1 ความถูกต้องในการปรับแต่ง (10)	2	4	6	8	10
4.2 ประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับแต่ง (10)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ภาคทฤษฎี 30 % คือ..... ภาคปฏิบัติ 70 % คือ.....				

ผู้ประเมิน..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

ภาคผนวก ค
คู่มือครูและเฉลยแบบประเมิน

คู่มือการใช้ SWR & POWER METER



รูปที่ ค1 แสดงส่วนต่างๆ ของเครื่อง SWR & POWER METER

1. **METER** เป็นสเกลที่แสดงค่าต่างๆ ในการวัด
2. **METER ADJUST** เป็นจุดปรับเข็มมิเตอร์ให้ชี้อยู่ที่ตำแหน่ง 0
3. **RANGE SWITCH** เป็น SWITCH ใช้ในการเลือกวัดกำลังส่งของเครื่องรับ-ส่ง โดยใช้ร่วมกับ FUNCTION SWITCH และ POWER SWITCH มีอยู่ด้วยกัน 3 ระดับ

   3.1 5W (5 วัตต์) ใช้ในการวัดกำลังส่งของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งไม่เกิน 5 วัตต์ ส่วนมากจะเป็นวิทยุประเภทมือถือทั่วไป

   3.2 20W (20 วัตต์) ใช้ในการวัดกำลังส่งของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งไม่เกิน 20 วัตต์ ส่วนมากจะเป็นวิทยุประเภท MOBLIE

   3.3 200W (200 วัตต์) ใช้ในการวัดกำลังส่งของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งไม่เกิน 200 วัตต์ ส่วนมากจะเป็นวิทยุประเภท MOBLIE, BASE STATION
4. **FUNCTION SWITCH** เป็น SWITCH เลือกการใช้งานของ VSWR มี 3 อย่าง คือ

   4.1 SWR ใช้ในการวัดค่าของ VSWR

   4.2 CAL ใช้ในการปรับเข็มมิเตอร์ให้ชี้อยู่ในตำแหน่ง บนสเกลของมิเตอร์ โดยใช้ร่วมกับปุ่ม CAL ก่อนที่ไปทำการวัดค่า SWR

   4.3 POWER ใช้ในการวัดกำลังส่งของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง โดยใช้ร่วมกับ RANGE SWITCH
4. **POWER SWITCH** เป็น SWITCH ที่ใช้ในการวัดกำลังส่งของเครื่องรับ - ส่งวิทยุ โดยใช้ร่วมกับ RANGE SWITCH และ FUNCTION SWITCH มี 3 อย่าง คือ

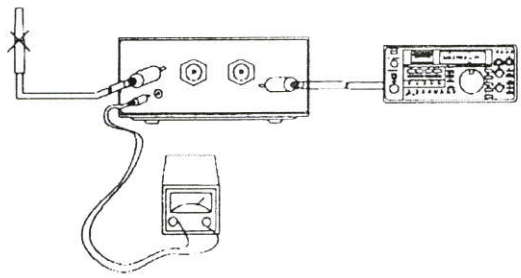
   5.1 OFF คือ การปิดเข็มมิเตอร์ มิเตอร์จะไม่ขึ้น

   5.2 FWD (FOR WORD) ใช้ในการวัดกำลังส่งของเครื่องส่งในการส่งออกอากาศ (PF)

5.3 REF (REFLECT) ใช้ในการวัดกำลังสะท้อนกลับของเครื่องส่ง (PR)

5. **AVG SWITCH** เป็น SWITCH ที่ใช้ในการหน่วงเข็มมิเตอร์ไม่ให้ขึ้นและลงเร็วเกินไป และใช้กับเครื่อง SSB. โดยกด AVG SWITCH ให้อยู่ในตำแหน่งต่ำ (PEP MONI)
7. **CAL** (CALIBRATION) เป็นปุ่มปรับเข็มมิเตอร์ให้ขึ้นเต็มสเกล โดยให้ชี้อยู่ในตำแหน่งก่อนที่จะทำการวัดค่า SWR ปกติจุดสีแดงของปุ่ม CAL จะอยู่ที่ตำแหน่ง MIN เสมอ ปุ่มนี้ใช้งานร่วมกับ FUNCTION SWITCH-CAL
8. **ANT** (ANTENNA) เป็นขั้วที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อสายนำสัญญาณไปยังสายอากาศ หรือ DAMMY LOAD (อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แทนสายอากาศ)
9. **TX** (TRANSCEIVER) เป็นขั้วที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อสายนำสัญญาณไปยังเครื่องวิยุรับ-ส่ง
10. **DC-IN** เป็นจุดต่อไฟ DC 11-15 VOLT สำหรับส่องหน้าปัทม์มิเตอร์ เมื่อใช้งานในที่มืด

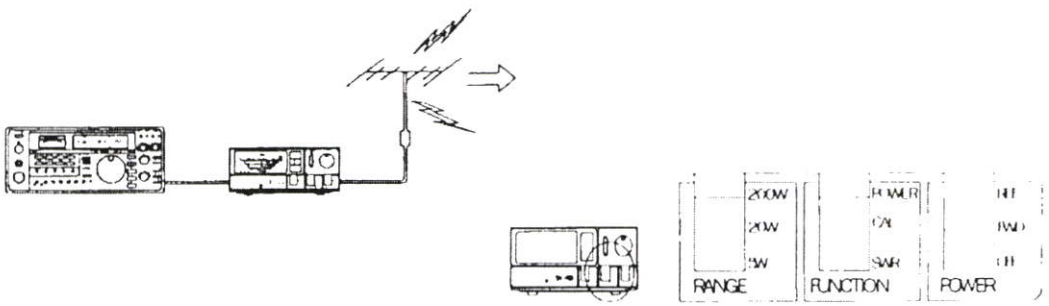
การวัดกำลังส่งโดยใช้ SWR & POWER METER SX-400



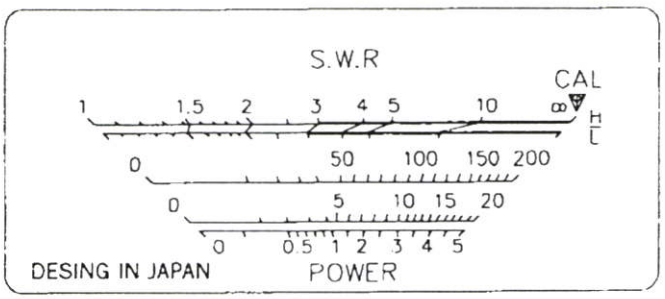
รูปที่ ค2 แสดงลักษณะตำแหน่งจุดต่อการใช้ SWR & POWER METER SX-400

1. ต่อสายนำสัญญาณจากสายอากาศของเครื่องรับ-ส่งไปยังขั้ว TX ของตัว SWR & POWER METER
2. ต่อ DAMMY LOAD ที่มีขนาดมากกว่ากำลังส่งของเครื่องที่จะมาทำการวัดเข้าที่ขั้ว ANT และหากต้องการวัดกำลังส่งที่สายอากาศก็ให้นำสายอากาศมาใส่แทน DAMMY LOAD
3. ที่ RANGE SWITCH เลือกตำแหน่งของระดับกำลังส่ง (5W,20W,200W) ให้สูงกว่ากำลังส่งของเครื่องวิทยุรับ-ส่งที่จะทำการวัด แล้วจึงทำการปรับเปลี่ยนลดระดับลงมาเพื่อทำการอ่านค่าของกำลังส่ง
4. ที่ FUNCTION SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง POWER
5. ที่ POWER SWITCH เลือกใช้ตำแหน่ง FWD หรือ REF

6. เลือกความถี่ที่ต้องการ กดปุ่ม PTT ที่ตัวเครื่องรับ-ส่ง ค้างไว้แล้วอ่านค่ากำลังส่งตามสเกลของ RANGE SWITCH ที่ตั้งไว้ (ไม่ควรกด PTT นานเกินควร เพราะจะไปรบกวนผู้ที่ใช้ความถี่เดียวกัน)
7. หากวัดค่ากำลังส่งของเครื่องวิทยุรับ-ส่งประเภท SSB ให้กดปุ่ม AVG SWITCH ลงที่ตำแหน่งต่ำ (PEP MONI) เพื่อหน่วงไม่ให้เข็มมิเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นและลงเร็วเกินไปในขณะกดและปล่อย PTT เพราะจะทำให้เข็มมิเตอร์งอได้



รูปที่ ค3 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์

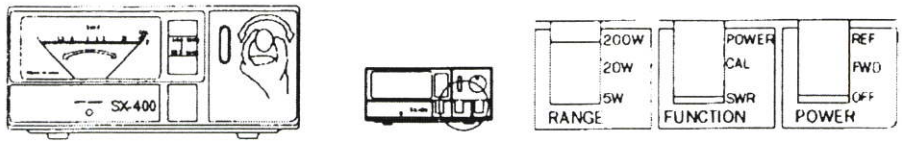


รูปที่ ค4 แสดงสเกลมิเตอร์ SX-400

การวัดค่า SWR ของสายอากาศด้วย SX-400

1. ต่อสายนำสัญญาณจากอากาศเครื่องรับ-ส่งไปยังขั้ว TX ของตัว SWR&POWER METER
2. ต่อสายนำสัญญาณที่มาจากสายอากาศที่ต้องการวัดเข้าที่ขั้ว ANT ของตัว SWR&POWER METER
3. ที่ RANGE SWITCH อยู่ที่ตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง 200W เพื่อป้องกันการเปลี่ยน RANGE SWITCH เลยไปที่ตำแหน่ง POWER)
4. ที่ POWER SWITCH อยู่ตำแหน่งใดก็ได้ (ควรอยู่ตำแหน่ง OFF)

5. ที่ FUNCTION SWITCH อยู่ที่ตำแหน่ง CAL และปุ่ม CAL อยู่ที่ตำแหน่ง MIN



รูปที่ ค5 แสดงตำแหน่ง FUNCTION SWITCH

6. เลือกความถี่ที่ต้องการ กดปุ่ม PTT ค้างไว้ พร้อมกับปรับปุ่ม CAL ให้เข็มมิเตอร์ขึ้นเต็มสเกลอยู่ที่ CAL และปล่อยปุ่ม PTT
7. เลื่อนปุ่ม FUNCTION SWITCH จาก CAL มาที่ SWR แล้วกดปุ่ม PTT ค้างไว้ อ่านค่า SWR ที่สเกลบนสุดของมิเตอร์ H/L

   H ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งสูงมากกว่า 5W

   L ใช้อ่านค่า SWR ของเครื่องวิทยุรับ-ส่ง ที่มีกำลังส่งต่ำกว่า 5W
8. ค่า SWR หาได้จากสูตร

$$SWR = \frac{\sqrt{PF} + \sqrt{PR}}{\sqrt{PF} - \sqrt{PR}}$$

ตารางที่ ค1 แสดงค่า SWR

SWR	1.0	1.1	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0
Reflected RF power %	0	0.22	0.8	4.0	11.1	18.4	25.0

คู่มือการใช้งานวิทยุสื่อสาร FUJITEL FB-246

คุณสมบัติ

(1) ช่องความถี่ 245.000 MHz – 245.9875 MHz

(2) ช่องหลัก 80 ช่อง

(3) VOX

(4) CTCSS 48 ช่อง

(5) SCAN

(6) ตั้งระดับสเควลซ์

(7) ฟังก์ชั่นเสียงเตือน ปุ่มเปิด/ปิด

(8) S มิเตอร์

(9) การประหยัดพลังงาน

(10) ฟังก์ชั่นการป้องกันการส่ง

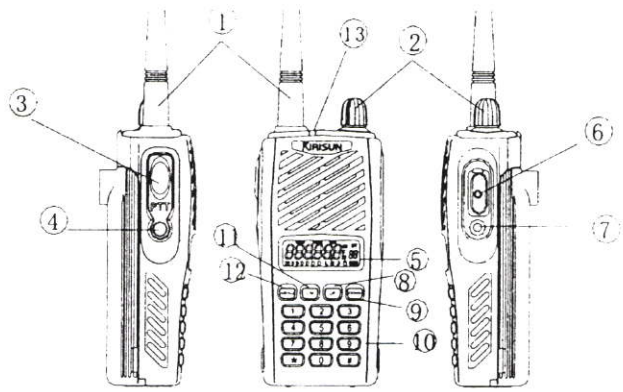
(11) ระดับพลังงาน สูง/ต่ำ

(12) ฟังก์ชั่นล็อคปุ่มกด

(13) การตรวจสอบกระแสไฟของแบตเตอรี่

(14) การตั้งค่าความถี่

ปุ่มฟังก์ชั่นต่างๆ ของตัวเครื่อง



รูปที่ ค6 แสดงปุ่มฟังก์ชั่นต่างๆ ของตัวเครื่องวิทยุสื่อสาร FUJITEL FB-246

(1) เสาอากาศ

(2) ปุ่มเปิด/ปิด และควบคุมเสียง

(3) ปุ่ม PTT

(4) ปุ่ม MONI เปิด/ปิด สเควลซ์

(5) หน้าจอแสดงช่องสัญญาณ, ความถี่, แสดงภาครับสัญญาณและอื่นๆ

(6) ช่องเสียบไมโครโฟน

(7) น็อต

(8) ปุ่มกดขึ้นเพื่อเลือกช่องสัญญาณ

(9) ปุ่มกดลงเพื่อเลือกช่องสัญญาณ

(10) ปุ่มหมายเลข เพื่อกดป้อนช่องสัญญาณหรือความถี่

(11) ปุ่ม V/M เพื่อเลือกสลับระหว่างความถี่กับช่องสัญญาณ

(12) ปุ่มเมนู ปุ่มนี้จะรวบรวมฟังก์ชั่นต่างๆ

(13) ปุ่มหลอด LED ไฟสีแดงจะสว่างขึ้นเมื่อมีการส่งสัญญาณ

การใช้เครื่องวิทยุสื่อสาร

ปุ่มเปิด/ปิดเครื่อง

เมื่อต้องการเปิดเครื่องวิทยุสื่อสาร หมุนปุ่ม POWER/VOLUME ตามเข็มนาฬิกา และปุ่มนี้สามารถระดับความดังของเสียงของภาครับ

การปรับความดัง/เบาของเสียง

เมื่อต้องการเพิ่มระดับความดังของเสียง หมุนปุ่ม POWER/VOLUME ในขณะใช้ปุ่ม MONI จะได้ยินเสียงซ่า

การส่งสัญญาณ

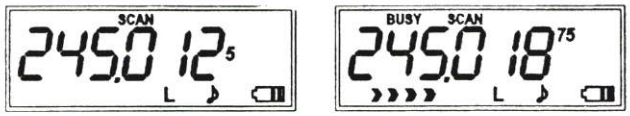
เมื่อต้องการเรียกคู่สนทนา กดปุ่ม PTT ค้างไว้แล้วสนทนา ควรใช้ปากห่างจากไมโครโฟนประมาณ1.5 นิ้ว

การรับสัญญาณ

ปล่อยปุ่ม PTT และปรับปุ่มควบคุมเสียงตามต้องการ

โหมดความถี่ (VFO)

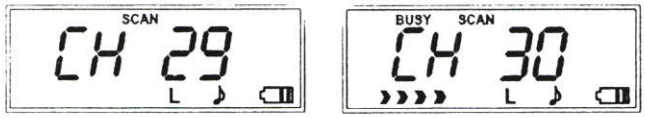
ขณะอยู่ช่องสัญญาณหลัก กดปุ่ม V/M เพื่อเข้าสู่หมวด VFO โดยการกดปุ่มตัวเลข, ทศนิยมจะเลื่อนไปเรื่อยๆ โดยอัตโนมัติตามที่ตั้งไว้ หรือกดปุ่ม UP/DOWN เพื่อเพิ่ม/ลดลง ตาม STEP ที่ตั้งไว้ เข้าโหมดสแกน VFO กดปุ่ม UP/DOWN ค้างไว้ 2 วินาที หรือถ้าจะออกจากระบบให้กดปุ่มใดๆ ก็ได้เพื่อออกจากระบบ หน้าจอแสดงดังรูปที่ ค7



รูปที่ ค7 แสดงระบบหน้าจอ

โหมดช่อง (CH)

ขณะอยู่ในโหมด VFO เข้าไปที่ช่องสัญญาณ โดยกดปุ่ม V/M หน้าจอจะแสดงช่องสถานีปัจจุบัน ถ้าต้องการเลื่อนช่อง โดยการกดปุ่ม UP/DOWN เพื่อขึ้น/ลง เข้าโหมดสแกน CH กดปุ่ม UP/DOWN ค้างไว้ 2 วินาที หรือถ้าจะออกจากระบบให้กดปุ่มใดๆ ก็ได้เพื่อออกจากระบบ หน้าจอแสดงดังรูปที่ ค8



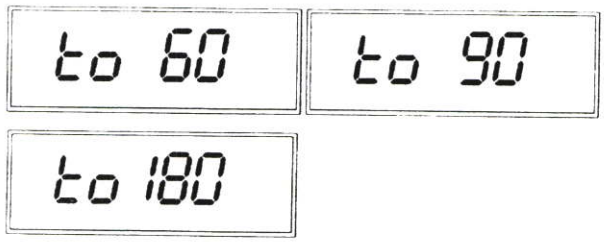
รูปที่ ค8 แสดงหน้าจอขณะอยู่ในโหมด

ฟังก์ชั่นการใช้งานต่างๆ

1. **การตั้งเวลาตัดการส่ง TIME-OUT-TIMER**

   ฟังก์ชั่นนี้เป็นตัวกำหนดระยะเวลาในการส่ง ซึ่งสามารถส่งสัญญาณได้ตามเวลาที่กำหนด เพื่อไม่ให้เครื่องเกิดความเสียหายจากการส่งนานเกินไป

   - กดปุ่ม MONI ค้างไว้แล้วเปิดเครื่อง
   - กดปุ่ม MENU หน้าจอขึ้น
   - กดปุ่ม UP/DOWN เพื่อเลือกช่วงเวลาในการส่ง ระหว่าง 60S, 90S, 180, แล้วปิดเครื่องเพื่อออกจากระบบ



รูปที่ ค9 แสดงหน้าจอบอกช่วงเวลาในการส่ง

2. **การประหยัดพลังงาน**

โหมดประหยัดพลังงานจะลดการกินกำลังแบตเตอรี่ เมื่อไม่มีการรับส่งสัญญาณ

3. **สัญญาณเตือนเมื่อแบตเตอรี่ต่ำ**

เครื่องจะเตือนเมื่อแบตเตอรี่ต่ำ โดยแสดงไฟกระพริบเตือนทันที

4. **การเฝ้าฟัง MONI**

ฟังก์ชั่นนี้ใช้สำหรับฟังสัญญาณที่อ่อนโดยไม่รบกวนการตั้งสเควลซ์ หรือเพื่อเปิดสเควลซ์ด้วยตัวเอง

- กดปุ่ม MONI ด้านข้างเครื่องจะมีเสียงซ่า

5. **ฟังก์ชั่น CTCSS**

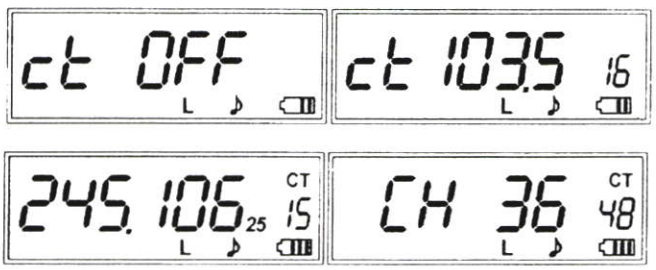
- บางช่องสถานีมีการตั้งโปรแกรม CTCSS คือ การเข้าช่องโทน ซึ่งทำให้คุณไม่ได้ยินเสียงคนอื่นเวลาที่สนทนาในช่องสถานีเดียวกัน
- เมื่อคุณได้รับสัญญาณที่เข้าช่องโทน ซึ่งแตกต่างจากที่คุณโปรแกรมในเครื่อง คุณจะไม่ได้ยินสัญญาณเหมือนกัน

เครื่องที่เข้าช่อง CTCSS เหมือนกันเท่านั้น

หมายเหตุ เมื่อเข้าโหมด CTCSS นี้จะป้องกันการรับช่องสัญญาณที่ไม่ต้องการรับ

การตั้งระบบ CTCSS

- โดยกดปุ่ม MENU
- กดปุ่มหมายเลข 4 เพื่อเข้าสู่โหมดการตั้งระบบ CTCSS
- กดปุ่ม UP/DOWN เพื่อเปลี่ยนช่องตามต้องการ , กดหมายเลขเพื่อเลือกช่อง CTCSS ตามต้องการ
- กดปุ่มใดปุ่มหนึ่งเพื่อออกจากโหมด หน้าจอแสดงดังรูปที่ ค10

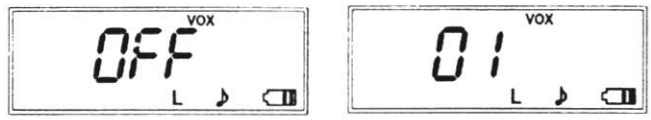


รูปที่ ค10 แสดงการตั้งระบบ CTCSS

6. **การตั้งระบบ VOX**

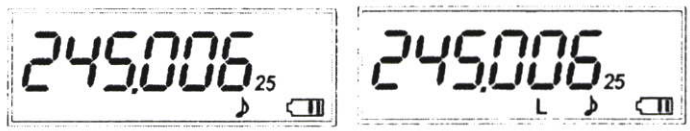
- โดยกดปุ่ม MENU
- กดปุ่มหมายเลข 1 เพื่อตั้งระบบ VOX

- กดปุ่ม UP/DOWN เพื่อเปิด/ปิด (มี 3 ระดับ)
- ออกจากระบบ กดปุ่มใดปุ่มหนึ่งเพื่อออกจากโหมด หน้าจอแสดงดังรูปที่ ค11



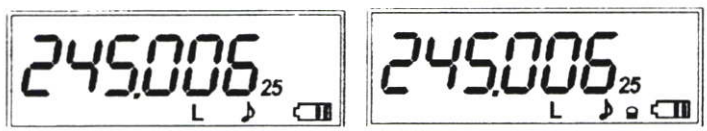
รูปที่ ค11 แสดงหน้าจอตั้งระบบ VOX

7. **การตั้งระบบส่งสัญญาณ สูง/ต่ำ**
   - โดยกดปุ่ม MENU
   - กดปุ่มหมายเลข 2 เพื่อตั้งระบบส่ง HIGH/LOW POWER
   - กดปุ่มใดปุ่มหนึ่งเพื่อออกจากโหมด หน้าจอแสดงดังรูปที่ ค12



รูปที่ ค12 แสดงหน้าจอ HIGH/LOW POWER

8. **การตั้งล็อคปุ่มกด**
   - โดยกดปุ่ม MENU
   - กดปุ่มหมายเลข 3 เพื่อล็อคปุ่มกด หน้าจอขึ้นรูปกุญแจ
   - กดปุ่มใดปุ่มหนึ่งเพื่อออกจากโหมด หน้าจอแสดงดังรูปที่ ค13



รูปที่ ค13 แสดงหน้าจอบอกการล็อคปุ่ม

ขั้นตอนการตั้งระบบ

ตั้งระบบเตือนเสียงปี๊บ ON/OFF

- กดปุ่ม MONI ค้างไว้แล้วเปิดเครื่องเพื่อเข้าสู่โหมดเตือนด้วยเสียงปี๊บ
- กดปุ่ม UP/DOWN
- ปิดเครื่องเพื่อออกจากระบบ หน้าจอแสดงดังรูปที่ ค14

รูปที่ ค14 แสดงหน้าจอการตั้งระบบเตือนเสียงปี๊บ ON/OFF

การตั้งระดับสเควลซ์

- กดปุ่ม MONI ค้างไว้แล้วเปิดเครื่อง
- กดปุ่ม MENU หนึ่งครั้งเพื่อเข้าระบบการตั้งระดับสเควลซ์
- กดปุ่ม UP/DOWN เพื่อเปลี่ยนระดับสเควลซ์
- ปิดเครื่องเพื่อออกจากระบบ หน้าจอแสดงดังรูปที่ ค15

รูปที่ ค15 แสดงหน้าจอการตั้งระดับสเควลซ์

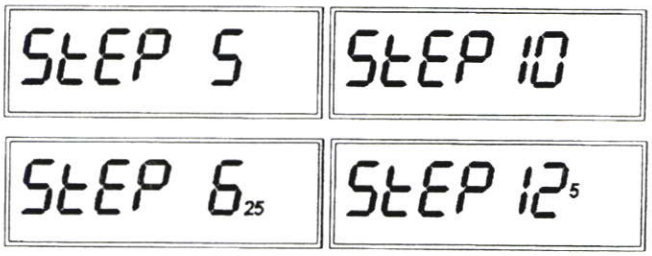
การเข้าสู่ระบบป้องกันการส่งสัญญาณ

- กดปุ่ม MONI ค้างไว้แล้วเปิดเครื่อง
- กดปุ่ม MENU 2 ครั้งเพื่อเข้าระบบป้องกันการส่งสัญญาณ
- กดปุ่ม UP/DOWN เพื่อเปิด/ปิด การส่งสัญญาณ
- ปิดเครื่องเพื่อออกจากระบบ หน้าจอแสดงดังรูปที่ ค16

รูปที่ ค16 แสดงหน้าจอการเข้าสู่ระบบป้องกันการส่งสัญญาณ

การตั้ง STEP

- กดปุ่ม MONI ค้างไว้แล้วเปิดเครื่อง
- กดปุ่ม MENU 3 ครั้งเพื่อเข้าสู่โหมดการตั้ง STEP
- กดปุ่ม UP/DOWN ตั้ง STEP ทีละ 5 K, 6.25K, 10 K, 12.5 KHz
- ปิดเครื่องเพื่อออกจากระบบ หน้าจอแสดงดังรูปที่ ค17



รูปที่ ค17 แสดงหน้าจอการตั้ง STEP

ตารางที่ ค2 แสดงความถี่ (MHz)

CH No	FREQ.	CH No.	FREQ.	CH No.	FREQ.	CH No.	FREQ.
1	245	21	245.25	41	245.5	61	245.75
2	245.0125	22	245.2625	42	245.5125	62	245.7625
3	245.025	23	245.275	43	245.525	63	245.775
4	245.0375	24	245.2875	44	245.5375	64	245.7875
5	245.05	25	245.3	45	245.55	65	245.8
6	245.0625	26	245.3125	46	245.5625	66	245.8125
7	245.075	27	245.325	47	245.575	67	245.825
8	245.0875	28	245.3375	48	245.5875	68	245.8375
9	245.1	29	245.35	49	245.6	69	245.85
10	245.1125	30	245.3625	50	245.6125	70	245.8625
11	245.125	31	245.375	51	245.625	71	245.875
12	245.1375	32	245.3875	52	245.6375	72	245.8875
13	245.15	33	245.4	53	245.65	73	245.9
14	245.1625	34	245.4125	54	245.6625	74	245.9125
15	245.175	35	245.425	55	245.675	75	245.925
16	245.1875	36	245.4375	56	245.6875	76	245.9375
17	245.2	37	245.45	57	245.7	77	245.95
18	245.2125	38	245.4625	58	245.7125	78	245.9625
19	245.225	39	245.475	59	245.725	79	245.975
20	245.2375	40	245.4875	60	245.7375	80	245.9875

	แนวทางในการตอบ	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย ระบบสายอากาศโทรทัศน์	
เรื่อง/งาน ระบบสายอากาศโทรทัศน์		จำนวนคาบ 4

3.1 สังเกตการสาธิตการติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์จากผู้สอน พร้อมทั้งจดบันทึกขั้นตอนในการติดตั้ง (5)

1. ประกอบสายอากาศโทรทัศน์ โดยสังเกตจากเครื่องหมายตามลำดับตั้งแต่ 1-9
2. นำสายสัญญาณ RG6 ต่อที่จุด Feed ของสัญญาณ
3. นำปลายของสายนำสัญญาณอีกด้านหนึ่งต่อเข้ากับ Out let ทีวีตามรูปที่ 1.1
4. นำสายสัญญาณต่อเข้ากับฐานตั้งเสาโทรทัศน์ แล้วปรับหาตำแหน่งของสถานีส่งช่อง ITV

4. ปัญหา

4.1 ส่วนประกอบของสายอากาศแบบ YAGI ประกอบด้วยอะไรบ้าง และแต่ละส่วนทำหน้าที่อย่างไร (5)

ตอบ 1. ตัวสะท้อนคลื่น (Reflector) ทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนคลื่นจากด้านหน้าเข้ามาเสริมกับคลื่นด้านหน้าให้ตัวรับคลื่นรับคลื่นให้มากขึ้น เพราะฉะนั้นระยะห่างระหว่างตัวสะท้อนกับตัวรับจึงมีความสำคัญมาก

2. ตัวรับคลื่น (Driven) ทำหน้าที่เป็นตัวรับหรือตัวขับคลื่น มีความยาวประมาณ $\frac{\lambda}{2}$ จึงจะรีโซแนนซ์ที่ความถี่ใช้งาน

4.2 ช่องสัญญาณเครื่องรับโทรทัศน์มีผลเกี่ยวข้องกับสายอากาศอย่างไร (5)

ตอบ มีผลเกี่ยวข้อง คือ ถ้าช่องสัญญาณช่วงสูง เช่น ITV (CH29) มีความถี่ภาพ 535.25 MHz จะมีขนาดของสายอากาศเล็กกว่าช่องสัญญาณช่วงต่ำ คือ VHF แสดงว่าความถี่มีผลต่อขนาดของสายอากาศ ตามสูตร $L=\frac{\lambda}{2}$ โดย $\lambda=\frac{v}{f}$

4.3 สายนำสัญญาณที่ใช้ในการติดตั้งเป็นสายชนิดใด เพราะเหตุใดจึงต้องใช้สายชนิดนี้ (5)

ตอบ สายนำสัญญาณของเครื่องรับโทรทัศน์ที่ต่อกับสายอากาศมี 2 แบบ คือ

1. สายแบน (ริบบอน) มีอิมพิแดนซ์ 300 โอห์ม เหมาะสำหรับใช้ต่อกับสายอากาศที่มี Driven เป็นแบบไดโพลปลายปิดเพราะมีอิมพิแดนซ์เท่ากัน

2. สายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียลเบอร์ RG6 มีอิมพิแดนซ์ 75 โอห์ม เหมาะสำหรับใช้ต่อกับสายอากาศแบบ YAGI ที่มี Driven เป็นไดโพลแบบปลายเปิด เพราะมีอิมพิแดนซ์ 75 โอห์มเท่ากัน

ถ้าต้องใช้สายสัญญาณลักษณะอื่นต้องมีอุปกรณ์แมทชิ่งเพื่อให้อิมพิแดนซ์เท่ากัน

5. สรุปผลการทดลอง (5)

จากการทดลองสรุปได้ว่า

1. องค์ประกอบของสายอากาศจะต้องประกอบด้วย สายอากาศ สายนำสัญญาณและคอนเนคเตอร์ Outlet TV และอุปกรณ์ทุกส่วนจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อมีอิมพิแดนซ์เท่ากัน (แมทช์กัน)

2. สายอากาศโทรทัศน์ที่ให้อัตราขยายสูงที่ใช้งานโดยทั่วไป คือ สายอากาศแบบYAGI ซึ่งประกอบด้วย ตัวสะท้อนคลื่น ตัวขับและตัวนำคลื่น มี 3 ส่วนเป็นอย่างน้อย เมื่อเวลาติดตั้งใช้งานต้องหันทิศทางให้ตรงกับสถานีส่งจึงจะรับได้ชัดเจน แสดงว่าเป็นสายอากาศแบบมีทิศทาง

	แนวทางในการตอบ	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วย คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน	
เรื่อง/งาน คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน		จำนวนคาบ 4

3.1 บันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงานจากการสาธิตของผู้สอน (5)

1. ประกอบสายอากาศตามหมายเลขที่กำหนดจนครบ
2. นำสายนำสัญญาณต่อกับคอนเนคเตอร์ อินพุทของเครื่องวัดตามแรงของสัญญาณ
3. นำสายอากาศยึดกับฐานตั้งเสาให้สูงจากพื้นดิน 3 เมตร
4. หันสายอากาศให้ตรงกับสถานีส่งช่อง ITV
5. ทำตามขั้นตอนข้อ 3.3

4. ปัญหา

4.1 สายอากาศ Yagi 3E กับ 5E รูป Pattern มีความแตกต่างกันเพราะเหตุใด

ตอบ 1. สายอากาศแบบ 3E จะมีมุมในการรับกว้างกว่าสายอากาศแบบ 5E

2. สายอากาศแบบ 3E จะมีความแรงของสัญญาณน้อยกว่าสายอากาศแบบ 5E

3. ที่เป็นตามข้อ 1 เพราะจำนวนอีลิเมนท์ของไดเรคเตอร์ จะมีผลต่อลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของ Lobe หลักคือ ถ้ามีจำนวนมากขึ้นจะส่งผลให้ Lobe หลักมีมุมแคบลง แต่จะทำให้สายอากาศมีเกณฑ์การขยายดีขึ้น เมื่อเทียบกับไดโพลมาตรฐาน $\frac{\lambda}{2}$

4.2 จากการทดลองสายอากาศ Yagi 3E มีอัตราขยายน้อยกว่า 5E เท่ากับ .....dB. (พร้อมทั้งแสดงวิธีการคำนวณ) (5)

ตอบ จากข้อ 4.2 ยกตัวอย่างการคำนวณ ถ้าสมมติให้ YAGI 3E Lobe หลักจะมีเกณฑ์การขยาย 48 dB YAGI 9E Lobe หลักจะมีเกณฑ์การขยาย 58 dB แสดงว่าสายอากาศ YAGI 9E มีเกณฑ์การขยายมากกว่าเท่ากับ 58dB – 48dB คือ 10 dB

5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง (5)

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. Pattern การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ YAGI จะประกอบด้วย โลบหลัก (Major Lobe) โลบรอง (Minor Lobe) โลบข้าง (Side Lobe) โลบหลัง (Back lobe) โดยลักษณะของสายอากาศที่ดีควรมีโลบหลักเพียงอย่างเดียว ส่วนโลบอื่นๆ ควรมีเกณฑ์น้อยที่สุด

2. Pattern ของสายอากาศโทรทัศน์สามารถหาได้โดยการนำเกณฑ์การขยายที่อ่านได้จากการหมุนสายอากาศตามองศารอบเสาอากาศ นำมา Plot ลงกราฟ Pattern จะได้ลักษณะการแพร่กระจายของสายอากาศต้นนี้ โดยเกณฑ์ของสายอากาศจะหาได้จากการเปรียบเทียบกับสายอากาศไดโพลมาตรฐาน $\frac{\lambda}{2}$ มีหน่วยเป็น dB_d

	แนวทางในการตอบ	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 3
	ชื่อหน่วย การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณระหว่างสายส่งสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณระหว่างสายส่งและสายอากาศ		จำนวนคาบ 4

3.1 บันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงานจากการสาธิตของผู้สอน

1. ประกอบสายอากาศยากิตามหมายเลขจนครบ
2. นำสายสัญญาณ RG 58 ยาว 10 m ต่อเข้าที่จุดฟีดของสายอากาศ
3. นำสายอากาศยึดเข้ากับฐานตั้งเสาแล้วนำไปตั้งไว้ที่โล่งแจ้ง
4. ปฏิบัติตามข้อ 3.2

4. ปัญหา

4.1 เพราะเหตุใดค่า Power จาก SWR มิเตอร์ที่วัดจากจุด 1และจุด 2 ในข้อที่ 3.4-3.5 และจากจุด 1 และจุด 2 ในข้อที่ 3.6-3.7 จึงมีค่าไม่เท่ากัน (5)

ตอบ 1. สายนำสัญญาณเบอร์ RG58 A/U มีอิมพีแดนซ์ประจำ (Z_O) เป็น 52 Ω เมื่อนำต่อเข้ากับสายอากาศ YAGI 3E ตัวสายอากาศมีความต้านทานการแพร่กระจายคลื่น (Z_L) ไม่เท่ากับ 52 Ω จึงเกิดค่า SWR ที่มีค่าเกิน 1:1 ทำให้กำลังที่ส่งออกจากเครื่องส่งวิทยุแพร่กระจายออกที่สายอากาศไม่หมด มีบางส่วนสะท้อนกลับจึงทำให้ค่า Power ที่จุด 1 และ 2 ที่วัดได้จากการทดลองมีค่าไม่เท่ากัน

2. ความยาวของสายนำสัญญาณมีผลทำให้เกิดการสูญเสียในสาย (Loses) ในรูปของความร้อน ยิ่งถ้าสายนำสัญญาณกับสายอากาศไม่สมดุลกันทางอิมพีแดนซ์ (Mismatch) จะทำให้ค่า SWR มีค่ามากกว่า 1:1

4.2 ค่า SWR คืออะไร เกิดจากสาเหตุใด (5)

ตอบ SWR ย่อมาจาก Standing Wave Ratio เป็นอัตราส่วนของแรงดันหรือกระแสที่มีค่ามากที่สุดต่อแรงดันหรือกระแสที่มีค่าต่ำที่สุด หรือ SWR มีค่าเท่ากับ $\frac{R}{Z_O}$ หรือ $\frac{Z_O}{R}$ เกิดจากอิมพีแดนซ์ประจำตัวของสายนำสัญญาณมีค่าไม่เท่ากันกับอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ จึงทำให้เกิดการสะท้อนกลับของสัญญาณในสายนำสัญญาณ ซึ่งอิมพีแดนซ์ของสายอากาศขึ้นอยู่กับความถี่ที่ใช้ต้องรีโซแนนซ์กัน

4.3 ค่า SWR มีผลต่อการส่งสัญญาณอย่างไร (5)

ตอบ 1. ทำให้สายส่งสัญญาณไม่สามารถส่งสัญญาณทั้งหมดออกไปยังสายอากาศได้ มีสัญญาณบางส่วนสะท้อนกลับเข้าสู่เครื่องส่ง

2. ทำให้ค่าการสูญเสียในสายส่งมีค่ามากขึ้นตามค่า SWR ที่เพิ่มขึ้น

4.4 มีวิธีการใดในการลดค่า SWR และเพิ่มกำลังวัตต์ให้จุดฟีดของสายอากาศ (5)

ตอบ ต้องปรับความสมดุลให้เกิดขึ้นระหว่างสายอากาศ สายนำสัญญาณ เครื่องส่ง โดยพยายามทำให้ทุกส่วนมีอิมพิแดนซ์เท่ากัน ก็จะสามารถลดค่า SWR ลงได้ เมื่อค่า SWR ลดค่ากำลังวัตต์ในการส่งก็จะเพิ่มขึ้น เพราะสัญญาณสะท้อนกลับมีค่าน้อยลง

5. สรุปผลการทดลอง (5)

1. ค่า SWR ที่วัดได้จากการทดลองจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับสายอากาศที่นำมาต่อกับสายนำสัญญาณ จะมีความสมดุลทางอิมพิแดนซ์กันมากน้อยเพียงใด โดยมีเงื่อนไขของความถี่ที่รีโซแนนซ์มาเกี่ยวข้องด้วย

2. เมื่อค่า SWR มีค่าสูงขึ้นจะทำให้การสูญเสียในสายเพิ่มขึ้นด้วย

3. การหาค่า SWR หาได้จาก $\frac{R}{Z_O}$ หรือ $\frac{Z_O}{R}$

4. เมื่อ SWR มีค่าสูงขึ้นทำให้กำลังวัตต์ที่ส่งออกสายอากาศมีค่าลดลง แสดงว่ามีกำลังบางส่วนสะท้อนกลับจากสายอากาศมายังเครื่องส่ง

5. สายอากาศแต่ละต้นจะใช้งานได้ดีเฉพาะความถี่ช่วงหนึ่งเท่ากัน

	แนวทางในการตอบ	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 4
	ชื่อหน่วย การแมทชิ่งระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การใช้ Balun และ Stub Matching		จำนวนคาบ 4

3.1 บันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงานจากการสาธิตของผู้สอน (5)

1. ประกอบสายอากาศแบบ YAGI เรียงลำดับตามหมายเลขจนครบ
2. เลือกสายนำสัญญาณมาใช้งานโดยดูจากเบอร์ของสายในใบงาน ใช้ RG58A/U
3. ปรับความถี่ใช้งานเครื่องส่งไปที่ความถี่ 240 MHz
4. นำสายอากาศยึดกับฐานเสานำมาติดตั้งในที่โล่งแจ้ง
5. นำสายสัญญาณมาต่อตามข้อ 3.2

4. ปัญหา

4.1 ทำไม Stub จึงช่วยทำให้ค่า SWR ในสายส่งลดลงได้ (5)

ตอบ เพราะการ Stub คือ การนำสายมาต่อขนานกับสายนำสัญญาณ เพื่อให้อิมพีแดนซ์รวมของสายแมทช์กันได้กับต้นกำเนิดสัญญาณหรือสายอากาศ จึงส่งผลให้ค่า SWR ในสายลดลง

4.2 ระยะ A และระยะ B หาได้จากอะไร (5)

ตอบ ระยะ A หาได้จากการคำนวณโดยใช้สูตร

$$A = \frac{984 \times vc \times a}{f\,(MHz)}$$

เมื่อ a คือ ค่าที่ได้จากความยาวคลื่นและค่า SWR ที่จะเกิดขึ้นทางฟิสิกส์ โดยดูจากกราฟ

f คือ ค่าความถี่ที่ใช้งานมีหน่วยเป็น MHz

V_C คือ ค่าความเร็วคงตัวของสาย (Velocity Constant) ที่นำมาใช้เป็นสตับ

หน่วยของระยะเป็นฟุต

ระยะ B หาได้จากสูตร

$$B = \frac{984 \times vc \times b}{f\,(MHz)}$$

เมื่อ b คือ ค่าที่ได้จากความยาวคลื่นที่ใช้งานกับค่า SWR ที่เกิดขึ้นทางฟิสิกส์ โดยดูค่าจากกราฟ

f คือ ค่าความถี่ที่ใช้งาน

V_C คือ ค่าความเร็วคงตัวของสาย (Velocity Constant) ที่นำมาใช้เป็นสตับ

5. สรุปผลการทดลอง (5)

จากการทดลองสรุปได้ว่า

1. Stub คือสายนำสัญญาณที่ใช้เพื่อการแมทช์สายอากาศกับสายนำสัญญาณ ในกรณีที่อุปกรณ์ทั้งคู่มีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน โดยการต่อสายอากาศขนานกับสายนำสัญญาณที่ใช้งานบริเวณจุดฟีด โดยมีระยะที่ได้จากการคำนวณตามสูตร

$$A = \frac{984 \times vc \times a}{f\left(MHz\right)}$$

$$B = \frac{984 \times vc \times b}{f\left(MHz\right)}$$

มี 2 แบบ คือ สตับปลายปิดและสตับปลายเปิด

2. ผลของการต่อสตับเพื่อต้องการลดค่า SWR ให้ต่ำลง

	แนวทางในการตอบ	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วย การแมทชิ่งระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การแมทช์สายอากาศเข้ากับสายนำสัญญาณ		จำนวนคาบ 4

3.1 บันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงานจากการสาธิตของผู้สอน (5)

1. ประกอบสายอากาศแบบYAGI โดยดูจากหมายเลขเรียงลำดับจนครบ โดยครั้งแรกใช้ Driven ที่มีการแมทช์แบบรูปตัวที

2. นำสายสัญญาณมาต่อเข้าจุดฟีด

3. นำสายอากาศที่ประกอบเสร็จแล้วยึดเข้ากับฐานสายอากาศที่ความสูง 2 เมตร แล้วนำไปตั้งในบริเวณที่โล่งแจ้ง

4. ปรับแต่งอุปกรณ์ตามข้อ 3.2

5. เปลี่ยน Driven ใหม่เป็นแกมม่าแมทช์แล้วทดลองตามข้อ 3.3

3.2 ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 5.1 สายอากาศแบบแมทชิ่งรูปตัวที หมายเลข ..... ใช้ SWR มิเตอร์วัดค่าที่จุด 1 ปรับเลื่อนท่ออลูมิเนียมจนได้ค่าที่ต่ำสุด มีค่า ..... **:1**

3.3 ต่ออุปกรณ์ตามรูปที่ 5.1 เปลี่ยนอุปกรณ์สายอากาศแบบแกมม่าแมทชิ่งหมายเลข..... ปรับและเลื่อนท่ออลูมิเนียมจนอ่านค่าจาก SWR มิเตอร์ได้ต่ำสุด..... **:1**

4. ปัญหา

4.1 จากข้อที่ 3.2 อะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่า SWR มีค่าลดลงเมื่อปรับเลื่อนท่ออะลูมิเนียม (5)

ตอบ สายอากาศแบบ YAGI ที่มี Driven ที่ต่อแบบทีแมทช์และแกมม่าแมทช์จะมีแกนแมทช์ที่สั้นกว่าตัวขับด้านบน จึงส่งผลให้สายอากาศมีค่า L ประกอบอยู่ด้วย การปรับเลื่อนจะทำให้ค่า L มีการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้อิมพิแดนซ์สายอากาศเปลี่ยน วิธีการแก้ไขทำได้โดยการต่อ C เข้าไปที่จุดฟีดทั้งสอง โดยมีค่าประมาณ 1-160 PF เพื่อให้อิมพิแดนซ์เหลือเพียงค่าความต้านอย่างเดียว

4.2 เราสามารถหาค่า D,L และขนาด d ได้อย่างไรถ้าต้องการส่งสัญญาณวิทยุความถี่ 240 MHz (5)

ตอบ การหาความยาว L

ถ้าสายนำสัญญาณมีค่า 300 โอห์มตัวแมทช์ควรมีค่า L ประมาณ 15% ของ $\frac{\lambda}{4}$

f = 240 MHz

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{299.8vc}{4f} = \frac{299.8 \times 0.66}{4 \times 240} = 20.6cm$$

L = 3.09 cm

D เป็นลวดอะลูมิเนียม เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 3 mm

$$d = \frac{1}{4}D = \frac{1}{4} \times 3 = \frac{3}{4}mm$$

ถ้าสายนำสัญญาณมีอิมพิแดนซ์ 75 โอห์ม

ถ้า L = 10 % ของ $\frac{\lambda}{4}$ คือ 0.1 × 20.6

L = 2.06 cm

ถ้า D มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 mm

$$d = \frac{1}{4}D = \frac{3}{4}mm$$

4.3 การแมทช์แบบทีแมทช์กับแกมม่าแมทช์มีข้อแตกต่างกันอย่างไร (5)

ตอบ การแมทช์แบบทีแมทช์ใช้ในกรณี สายนำสัญญาณเป็นแบบสมดุล เช่นสายแบบริบบอน ซึ่งมีอิมพิแดนซ์ 300 โอห์ม ส่วนการแมทช์แบบแกมม่าแมทช์ใช้ในกรณีสายนำสัญญาณเป็นแบบไม่สมดุล เช่น สายโคแอกเชียล ซึ่งมีอิมพิแดนซ์ 50 ถึง 75 โอห์ม และมีตัวแมทช์เพียงด้านเดียว

5. สรุปผลการทดลอง (5)

จากการทดลองสรุปได้ว่า

1. สายอากาศแบบ YAGI ที่มี Driven เป็นแบบทีแมทช์และแกมม่าแมทช์ สามารถทำให้อิมพิแดนซ์ของสายอากาศเปลี่ยนได้ โดยการปรับแกนแมทช์และการปรับค่า C ซึ่งตรวจสอบได้โดยดูจากค่า SWR ที่เปลี่ยนแปลง
2. โดยทั่วไปสายอากาศที่แมทช์แบบทีแมทช์จะใช้คู่กับสายนำสัญญาณชนิดสมดุลและสายอากาศแบบแกมม่าแมทช์ใช้กับสายนำสัญญาณชนิดไม่สมดุล
3. โดยทั่วไปแกนแมทช์จะมีขนาดสั้นกว่า Driven จึงทำให้อิมพิแดนซ์ของสายนำสัญญาณเกิดค่า L ขึ้น วิธีการจะทำให้เกิดการรีโซแนนซ์ แก้ไขได้โดยการต่อ C เข้าไปเพื่อกำจัดค่า L ตามสูตร

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(X_L - X_C\right)^2}$$

	แนวทางในการตอบ	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 6
	ชื่อหน่วย การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi	
เรื่อง/งาน การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi		จำนวนคาบ 4

3.1 ออกแบบสายอากาศแบบ YAGI ตามใบความรู้ที่ 6 แล้วนำมาต่อตามรูปที่ ข6.1 (5) งานให้นักศึกษาออกแบบสายอากาศแบบ YAGI 5E โดยใช้วัสดุดังนี้

1. Driven และ Director Element ทำจากสแตนเลตขนาด 3 mm.
2. บูมทำจากอะลูมิเนียมแบบเหลี่ยมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 cm. ความถี่ใช้งาน 245 MHz

วิธีการออกแบบ

1. หาค่าความยาวคลื่น λ

$$\lambda = \frac{29980}{f(MHz)}\ cm.$$

$$= \frac{29980}{245} = 122.367\ cm.$$

2. หาค่า $\frac{d}{\lambda} = \frac{0.3}{122.367} = 0.00245$

$$\therefore \quad \text{ค่า } \frac{d}{\lambda} = 0.00245\lambda$$

จากตารางที่ข6.1 สำหรับบูมยาว 0.8 λ และ $\frac{d}{\lambda} = 0.0085\lambda$ ตามที่ NBS ทดลองจะได้

$$L_R = 0.482\lambda$$

$$L_{D_1} = L_{D_3} = 0.482\lambda$$

$$L_{D_2} = 0.424\ \lambda$$

ลากเส้นดิ่งจาก $\frac{d}{\lambda} = 0.0085\ \lambda$ ขึ้นไปตัดกับเส้นกราฟของทั้งรีเฟลกเตอร์และไดเรกเตอร์ (คือจุดที่ $L_R = 0.482\lambda$ และ $L_{D_1} = L_{D_3} = 0.482\lambda$ ดังที่แสดงในตารางที่ ข6.1) ลากเส้นนอนจากความยาวของอีลีเมนต์ 0.428ของ L_{D_1} และ L_{D_3} มาตัดกราฟ C ของไดเรกเตอร์ จะได้ตำแหน่งของ L_{D_1} และ L_{D_3} และลากเส้นนอนจากความยาวของอีลิเมนต์ 0.424 λ ของ L_{D_2} มาตัดกราฟ C ของไดเรกเตอร์ จะได้ตำแหน่งของ L_{D_2}

จากงานออกแบบต้องให้ $\frac{d}{\lambda}$ = 0.00245 λ โดยการลากเส้นดิ่งจาก 0.00245 λ ขึ้นไปสัมผัสกราฟ C

$$L_R = 0.487\lambda$$

$$L_{D_1} = L_{D_3} = 0.449\lambda$$

$$L_{D_2} = 0.447\lambda$$

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{2.5}{122.367} = 0.02043 \ cm.$$

จากกราฟรูปที่ ข6.4 ความยาวของอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.014

$$\therefore \quad L'_R = 0.487\lambda + 0.014\lambda = 0.501\lambda$$

$$L'_{D_1}, L'_{D_3} = 0.449\lambda + 0.014\lambda = 0.463\lambda$$

$$L'_{D_2} = 0.447\lambda + 0.014\lambda = 0.461\lambda$$

$$\therefore \quad L'_R = 0.501 \times 122.367 = 61.3058 \ cm.$$

$$L'_{D_1}, L'_{D_3} = 0.463 \times 122.367 = 56.6559 \ cm.$$

$$L'_{D_2} = 0.461 \times 122.367 = 56.4111 \ cm.$$

$$L_{DE} = 0.466 \times 122.367 = 57.0230 \ cm.$$

ความยาวของบูม = 0.8 λ = 0.8 × 122.367 = 97.8936 cm.

ระยะห่างระหว่าง R กับ DE จากตารางที่ 1 คือ 0.2 λ เท่ากับ 0.2 × 122.367 = 24.4734 cm.

ระยะระหว่าง Director 0.2 λ เท่ากับ 0.2 × 122.367 = 24.4734 cm.

4. ปัญหา

4.1 ถ้าต้องการให้ได้ค่า SWR มีค่าใกล้เคียง 1:1 จะแก้ไขได้ด้วยวิธีใด เพราะเหตุใด (5)

ตอบ 1. ปรับเลื่อนแกนแมทช์แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่ SWR มิเตอร์ให้มีค่าน้อยที่สุด

2. ปรับค่า C 1 – 30 PF สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่ SWR มิเตอร์ให้มีค่าต่ำที่สุด

สาเหตุที่ต้องต่อ C เข้าไปตรงจุด Feed ของสายอากาศ เพราะที่แกนแมทช์มีขนาดสั้นกว่าที่ Driven จึงทำให้เกิดค่าอินดัคทีฟรีแอคแดนซ์ขึ้นในสาย ทำให้ความถี่ที่ใช้งานไม่รีโซแนนซ์ จึงต้องต่อ C เข้าไปเพื่อให้อิมพิแดนซ์ของสายอากาศเกิดการรีโซแนนซ์ การปรับ C ก็เพื่อจะให้ค่า X_C เท่ากับ X_L

5. สรุปผลการทดลอง (5)

สายอากาศที่ออกแบบขึ้นมาใช้งานเป็นแบบ YAGI ที่มีการแมทช์แบบแกมม่าแมทช์ มีขั้นตอนการออกแบบตามวิธีของ NBS

1. ขั้นแรกคือเลือกว่าอยากได้อัตราขยายเท่าไร โดยดูจาก ตารางที่ ข6.1 แล้วดูว่าที่อัตราขยายที่ต้องการนั้นต้องใช้ความยาวบูมเท่าไร สำหรับย่านความถี่ที่ต้องการใช้งานถ้าคิดว่ายาวเกินไปแก้ไขโดยลดความต้องการในด้านอัตราขยายลงเพื่อให้ความยาวของบูมสั้นลง

2. เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอีลีเมนต์ว่าจะเอาค่าใดจาก 0.001λ ถึง 0.04 λ (เพื่อให้สามารถใช้กราฟในรูปที่ ข6.5 ได้) ขนาดที่เลือกนี้ควรแข็งแรงเพียงพอ ที่จะรับน้ำหนักของตัวมันเองได้โดยไม่โก่งงอ ยิ่งอีลีเมนต์อ้วนขึ้น ก็จะยิ่งทำให้แถบความถี่ใช้งานของสายอากาศกว้างขึ้น

3. เลือกขนาดของบูมว่าจะใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเท่าไร โดยพิจารณาว่าจะต้องเข้มแข็งเพียงพอสำหรับความยาวของบูมที่ต้องการ และกำหนดวิธียึดอีลีเมนต์ด้วยว่า จะยึดลอยเหนือบูมโดยใช้ฉนวนคั่นระหว่างอีลีเมนต์และบูมหรือจะยึดทะลุสอดผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบูม (ซึ่งจะต้องชดเชยความยาวของทุกอีลีเมนต์โดยใช้กราฟในรูปที่ 6.4)

4. หาความยาวจริงของไดเรกเตอร์และรีเฟลกเตอร์สำหรับค่า d/λ ที่ใช้จากกราฟในรูปที่ ข 6.5โดยใช้เส้นกราฟสำหรับความยาวของบูมนั้นค่าที่อ่านค่าได้โดยตรงเลยคือความยาวของรีเฟลกเตอร์และไดเรกเตอร์ตัวที่ 1 (D_1) ส่วนไดเรกเตอร์ตัวอื่น ๆ ต้องใช้วิธีเทียบระยะห่างบนกราฟที่ห่างจากตำแหน่งที่เส้น d/λ นั้น ๆ ตัดกับเส้นกราฟ ให้ห่างเท่ากับที่ตำแหน่งที่เส้น 0.0085 λ ตัดกับเส้นกราฟห่างจากแต่ละไดเรกเตอร์ (ดูค่าจากตารางที่ ข6.1) บนเส้นกราฟแล้วจึงเทียบว่าเท่ากับความยาวใด สำหรับรายละเอียดตรงนี้ขอให้ดูจากตัวอย่างการออกแบบจะเข้าใจได้ดีขึ้น

5.ในกรณีที่ยึดอีลีเมนต์ผ่านกลางบูม โดยสัมผัสทางไฟฟ้าให้เพิ่มความยาวของ ทุกอีลีเมนต์โดยใช้กราฟในรูปที่ ข6.4

6. เลือกวิธีการแมทช์ที่จะใช้และคำนวณความยาวของดริเว่นอีลีเมนต์จากหัวข้อถัดไป เมื่อสร้างเสร็จแล้วอาจปรับแต่งความยาวของดริเว่นอีลีเมนต์ได้อีกเล็กน้อยเพื่อให้ SWR ดีขึ้น สำหรับในการตัดความยาวขั้นต้น อาจตัดความยาวของดริเว่นอีลีเมนต์ให้ยาวประมาณ 0.466 λ ก่อน (ซึ่งเทียบเท่ากับใช้ ตัวคูณ k เป็นประมาณ 0.93 ก่อน) แล้วจึงค่อยมาตัดให้สั้นลง หรือเพิ่มความยาวขึ้นเล็กน้อยในขณะ ปรับแต่ง SWR

	เฉลยแบบประเมิน	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	**สอนครั้งที่ 1**
	ชื่อหน่วย ระบบสายอากาศโทรทัศน์	
เรื่อง/งาน ระบบสายอากาศโทรทัศน์		**จำนวนคาบ 4**

1. ง. เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูง
2. ง. แบบ Dipoleที่ปรับความถี่รับได้
3. ก. แบบ Yagi
4. ค. แบบปลายปิดมีอิมพีแดนซ์ 300 Ω แบบปลายเปิดมีอิมพีแดนซ์ 75 Ω
5. ข. แบบที่ 1 มีอัตราขยายดีกว่าแบบที่ 2
6. ข. Director Element
7. ก. มีความยาวน้อยกว่าส่วนที่ 2 อยู่ 5%
8. ข. แบบโคแอกเชียลสามารถมีอิมพีแดนซ์ 75 Ω
9. ง. สายทั้ง 3ชนิด ถ้าจะต่อต้องมีการต่อแมทชิ่งก่อนเพื่อให้มีอิมพีแดนซ์เท่ากัน
10. ง. ในภาวะปกติมีการสูญเสียในสายมากกว่าแบบทวีนลีด

	เฉลยแบบประเมิน	หน่วยที่ 2
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 2
	ชื่อหน่วย คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน	
เรื่อง/งาน คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน		จำนวนคาบ 4

1. ก. Directivity

2. ค. ระนาบอิเควโทเรียลกับระนาบเมอริเดียน

3. ข. ระนาบเมอริเดียน

4. ค. มีทิศทางกระจายข้างหน้าเท่ากับข้างหลัง

5. ง. 66 dB

$$\frac{E_f}{E_b} = \frac{20\times10^{-3}}{10\times10^{-6}}$$

$$= 2000$$

$$= 20 \log_{10} 2000$$

$$= 66.02 \text{ dB}$$

6. ง. เลือกใช้ได้ทั้งข้อ ข และข้อ ค

7. ค. 6 dB.

$$10 \log\left(\frac{40\times10^{3}}{10\times10^{3}}\right)$$

$$= 6 \text{ dB}$$

8. ค. 8.15 dB.

$$6 + 2.15 = 8.15 \text{ dB}$$

9. ง. เป็นไปได้ทั้งข้อ ก และข้อ ข

10. ข. การแพร่คลื่นที่ไม่มีไดเร็คชั่นแนลในแนวนอนแต่มีในแนวตั้ง

	เฉลยแบบประเมิน	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 3
	ชื่อหน่วย การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณระหว่างสายส่งสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณระหว่างสายส่งและสายอากาศ		จำนวนคาบ 4

1. ง. ค่าพลังงานที่สายอากาศแบบไอโซทรอปิกใช้สร้างความเข้มของสนามให้เท่ากับสายอากาศที่ใช้งานจริง

2. ค. 300 วัตต์

   10 dB คือ 10:1

   $ERP = P_t G_t$

   $= 30 \times 10 = 300$ W

3. ค. ถ้ามีค่ามากแสดงว่าสายอากาศมีประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นมาก

4. ก. 100,200 วัตต์

   $$I^2 R_r = (10)^2 \times 1 = 100 \text{ W}$$

   $$I^2 R_L = (10)^2 \times 2 = 200 \text{ W}$$

5. ง. 33.33 %

   $$\frac{100(R_r)}{R_L + R_r} = \frac{100(1)}{1+2}$$

   $$= \frac{100}{3} = 33.33\,\%$$

6. ค. ไม่เป็นจริงเพราะสามารถใช้ Stub กับ Balun มาแมทช์ระหว่างสายอากาศกับสายนำสัญญาณได้

7. ง. ต้องพิจารณาทุกข้อโดยให้ความสำคัญจากข้อ ก ถึงข้อ ค ตามลำดับ

8. ง. 4:1

   $$\text{SWR} = \frac{Z_L}{Z_O} = \frac{300}{75} = 4{:}1$$

9. ก. พยายามหาสายอากาศที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับสายนำสัญญาณ

10. ง. ความยาวของสายนำสัญญาณต้องมีค่าเป็นจำนวนเท่าของเลขคี่ของความถี่พื้นฐาน

	เฉลยแบบประเมิน	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 4
	ชื่อหน่วย การแมทชิ่งระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การใช้ Balun และ Stub Matching		จำนวนคาบ 4

1. ค. ให้สายอากาศอยู่ในสภาวะที่เป็นรีโซแนนซ์ที่ใช้งาน

2. ค. การแทรกของสัญญาณรบกวนจากภายนอก

3. ค. สายโคแอกเชียล 75 Ω

4. ค. 150 Ω

$$Z_{in} = \frac{Z_O^2}{Z_L} \qquad Z_O = \sqrt{(300)(75)}$$

$$Z_O = 150\ \Omega$$

5. ข. 2.16 ฟุต

$$\frac{492 \times Vc}{f(MHz)} = \frac{492 \times 0.66}{150} = 2.16$$

6. ก. ตอบสนองความถี่ได้ในช่วงแคบๆ เท่านั้น

7. ก. ถ้า Z_L มีค่ามากกว่า Z_O ใช้สตับแบบปลายปิด

8. ก. เป็น C

9. ข. 0.303 ฟุต

จากโจทย์ $Z_L > Z_{in}$ สตับเป็นชนิดปลายเปิด จึงหาค่า a จากกราฟได้ 0.007

$$A = \frac{984 \times Vc \times a}{f(MHz)} = \frac{984 \times 0.66 \times 0.07}{150} = 0.303$$

10. ก. 0.649 ฟุต

หาค่า b จากกราฟได้ 0.15

$$B = \frac{984 \times Vc \times b}{f(MHz)} = \frac{984 \times 0.66 \times 0.15}{150} = 0.649$$

	เฉลยแบบประเมิน	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วย การแมทชิ่งระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การแมทช์สายอากาศเข้ากับสายนำสัญญาณ		จำนวนคาบ 4

1. ค. แบบทวีนลีด 300 Ω
2. ง. ต่อตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้ประมาณ 0-160 nF ที่จุดฟีดทั้ง 2 ข้างเพื่อให้เกิดการรีโซแนนซ์
3. ง. ถูกทั้งข้อ ก และข้อ ข
4. ข. เกิดความชื้นจึงทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนเนื่องจากมีการต่อตัวเก็บประจุ C
5. ข. แบบโอเมก้าแมทช์
6. ข. 15 % ของ $\frac{\lambda}{4}$
7. ค. $\frac{1}{3}D$
8. ก. 10 % ของ $\frac{\lambda}{4}$
9. ค. ค่า L
10. ค. น้อยกว่า $\frac{\lambda}{4}$

	เฉลยแบบประเมิน	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 6
	ชื่อหน่วย การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi	
เรื่อง/งาน การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi		จำนวนคาบ 4

1. หน้าที่ของดริเว่นอิลีเมนท์ของสายอากาศแบบ Yagi คือ (ข) เป็นจุดฟีดของสายอากาศที่ทำหน้าที่ในการรับหรือส่งคลื่นให้กับเครื่องรับส่งให้ทำงาน
2. หน้าที่ของรีเฟลกเตอร์อิลีเมนท์ของสายอากาศแบบ Yagi คือ (ก) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำหน้าที่สะท้อนคลื่นด้านหลังให้ดริเว่นอิลีเมนท์และป้องกันการรับคลื่นจากทางด้านหลังของสายอากาศด้วย
3. หน้าที่ของไดเรกเตอร์อิลีเมนท์ของสายอากาศแบบ Yagi คือ (ค) เป็นตัวรับสัญญาณส่วนหน้าของสายอากาศให้มีค่า Directivity มากขึ้นและเพิ่ม Gain ของสายอากาศให้มากขึ้น ถ้าจัดระยะห่างให้พอเหมาะ
4. หน้าที่ของสตับการทำงานระหว่างสายส่งกับสายอากาศ คือ (ง) ทำให้สายอากาศรับกำลังงานจากเครื่องส่งได้มากขึ้น
5. ค. Band Width มากขึ้น
6. ค. 0.0065

$$\frac{29980}{150} = 199.86 \approx 120 \ cm.$$

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{1.3}{199.86} = 0.0065$$

7. ข. 96.33 ซม.

$$L_R = 0.482\lambda$$

$$= 0.482 \times 199.86$$

$$= 96.33 \text{ cm.}$$

8. ก. 88.33 ซม.

$$L_D = 0.442 \times 199.86$$

$$= 88.33 \text{ cm.}$$

9. ข. 93.13 ซม.

$$L_{DE} = 0.446 \times 199.86$$

$$= 93.13 \text{ cm.}$$

10. ค. แกมม่าแมทช์

ภาคผนวก ง

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือการวิจัย

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเครื่องมือและอุปกรณ์

คำชี้แจง

ใบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็น เกี่ยวกับเครื่องมือและอุปกรณ์

ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่น ๆ

การประเมิน

ตอนที่ 1 กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องระดับการประเมินเพียงช่องเดียว โดยระดับคะแนนจะแสดงความหมายดังนี้

5	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่มากที่สุด
4	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่มาก
3	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับปานกลาง
2	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่น้อย
1	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่น้อยที่สุด

ตอนที่ 2 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ลงนามชื่อ .....

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อเครื่องมือและอุปกรณ์

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
1	เหมาะสมกับระดับผู้เรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	อุปกรณ์ทดลองให้ประสบการณ์ในการเรียนรู้.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	นักเรียนมีส่วนร่วมในการใช้อุปกรณ์.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	ความเหมาะสมในการจัดตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	มีความสัมพันธ์การใช้งานร่วมกับใบงาน...	.....	.....	.....	.....	.....
6	มีความสะดวกในการดำเนินการสอน.....	.....	.....	.....	.....	.....
7	ความปลอดภัยในขณะทำการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
8	สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....
9	ขนาดมีความเหมาะสม.....	.....	.....	.....	.....	.....
10	มีวิธีการใช้ไม่ยุ่งยากซับซ้อน.....	.....	.....	.....	.....	.....
11	ความสะดวกในการบำรุงรักษา.....	.....	.....	.....	.....	.....
12	มีความคงทนแข็งแรง.....	.....	.....	.....	.....	.....

<u>ตอนที่ 2</u> ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

1. ความคิดเห็นอื่นๆ เกี่ยวกับเนื้อหาวิชา

.....

.....

.....

.....

.....

2. ความคิดเห็นอื่นๆ เกี่ยวกับเครื่องมือและอุปกรณ์

.....

.....

.....

.....

.....

3. ความคิดเห็นอื่นๆ และข้อเสนอแนะโดยทั่วไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อใบความรู้และใบงาน

คำชี้แจง

ใบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็น เกี่ยวกับใบความรู้และใบงานที่สร้างขึ้น

ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

การประเมิน

ตอนที่ 1 กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องระดับการประเมินเพียงช่องเดียว โดยระดับคะแนนจะแสดงความหมายดังนี้

5	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่มากที่สุด
4	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่มาก
3	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับปานกลาง
2	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่น้อย
1	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่น้อยที่สุด

ตอนที่ 2 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ลงนามชื่อ .....

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

<u>ตอนที่ 1</u> ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อใบความรู้และใบงานที่สร้างขึ้น

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
	<u>เนื้อหาวิชา</u>					
1	เนื้อหาครอบคลุมวัตถุประสงค์.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	ความถูกต้องของเนื้อหา.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	การเรียงลำดับเนื้อหาวิชาก่อนหลัง.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	ความยากง่ายของเนื้อหา.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	เนื้อหาก่อให้เกิดแรงจูงใจต่อการเรียน..	.....	.....	.....	.....	.....
6	เหมาะสมกับผู้เรียน.....	.....	.....	.....	.....	.....
	<u>ใบงาน</u>					
7	ความเหมาะสมกับลำดับขั้นความรู้.....	.....	.....	.....	.....	.....
8	ความชัดเจนในการอธิบายลำดับขั้น การทดลองของแต่ละขั้น	.....	.....	.....	.....	.....
9	คำอธิบายลำดับขั้นการปฏิบัติเข้าใจง่าย.....	.....	.....	.....	.....	.....
10	รูปวงจร ตารางกราฟ เหมาะสม	.....	.....	.....	.....	.....
11	ความสะดวกในการบันทึกค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

1. ความคิดเห็นอื่นๆ เกี่ยวกับเนื้อหาวิชา

.....

.....

.....

.....

.....

2. ความคิดเห็นอื่นๆ เกี่ยวกับใบงาน

.....

.....

.....

.....

.....

3. ความคิดเห็นอื่นๆ และข้อเสนอแนะโดยทั่วไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

คำชี้แจง

ใบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน

ตอนที่ 1 ถามความคิดเห็น เกี่ยวกับแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สร้างขึ้น

ตอนที่ 2 ถามความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

การประเมิน

ตอนที่ 1 กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องระดับการประเมินเพียงช่องเดียว โดยระดับคะแนนจะแสดงความหมายดังนี้

5	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่มากที่สุด
4	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่มาก
3	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับปานกลาง
2	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่น้อย
1	มีค่าเท่ากับ	เห็นด้วยในระดับที่น้อยที่สุด

ตอนที่ 2 โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ลงนามชื่อ .....

(.....)

ผู้ทรงคุณวุฒิ

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
หน่วยที่ 1 เรื่องระบบสายอากาศโทรทัศน์

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
1	การเตรียมเครื่องมือติดตั้ง.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	ขั้นตอนการติดตั้ง.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	เวลาที่ใช้ในการติดตั้ง.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....
5	ขั้นตอนการทดสอบ.....	.....	.....	.....	.....	.....
6	ประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับแต่ง.....	.....	.....	.....	.....	.....
7	การบันทึกผลการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
8	การตอบคำถามท้ายการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
9	แบบประเมินหน่วยที่ 1.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
หน่วยที่ 2 คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
1	การใช้เครื่องมือติดตั้งอุปกรณ์	.....	.....	.....	.....	.....
2	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	.....	.....	.....	.....	.....
3	เวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....
5	ขั้นตอนการทดสอบ.....	.....	.....	.....	.....	.....
6	เวลาในการทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....
7	การบันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
8	การบันทึกผลการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
9	การตอบคำถามท้ายการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
10	แบบประเมินหน่วยที่ 2.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
หน่วยที่ 3 การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณ ระหว่างสายส่งและสายอากาศ

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
1	การใช้เครื่องมือติดตั้งอุปกรณ์	.....	.....	.....	.....	.....
2	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	.....	.....	.....	.....	.....
3	เวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....
5	ขั้นตอนการทดสอบ.....	.....	.....	.....	.....	.....
6	เวลาในการทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....
7	การบันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
8	การบันทึกผลการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
9	การตอบคำถามท้ายการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
10	แบบประเมินหน่วยที่ 3.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
หน่วยที่ 4 การใช้ Balun และ Stub Matching

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
1	การใช้เครื่องมือติดตั้งอุปกรณ์	.....	.....	.....	.....	.....
2	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	.....	.....	.....	.....	.....
3	เวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....
5	ขั้นตอนการทดสอบ.....	.....	.....	.....	.....	.....
6	เวลาที่ใช้ในการทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....
7	การบันทึกขั้นตอนการปฏิบัติการทดลอง	.....	.....	.....	.....	.....
8	การบันทึกผลการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
9	การตอบคำถามท้ายการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
10	แบบประเมินหน่วยที่ 4.....	.....	.....	.....	.....	.....

<u>ตอนที่ 1</u> ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
หน่วยที่ 5 การแมทช์สายอากาศเข้ากับสายนำสัญญาณ

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
1	การใช้เครื่องมือติดตั้งอุปกรณ์	.....	.....	.....	.....	.....
2	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	.....	.....	.....	.....	.....
3	เวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....
5	ขั้นตอนการทดสอบ.....	.....	.....	.....	.....	.....
6	เวลาในการทดสอบ	.....	.....	.....	.....	.....
7	การบันทึกขั้นตอนการปฏิบัติการทดลอง	.....	.....	.....	.....	.....
8	การบันทึกผลการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
9	การตอบคำถามท้ายการทดลอง.....	.....	.....	.....	.....	.....
10	แบบประเมินหน่วยที่ 5.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 1 ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
หน่วยที่ 6 การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
1	ความถูกต้องในการออกแบบ.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	เวลาในการออกแบบ.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	แบบประเมินหน่วยที่ 6.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	การเตรียมเครื่องมือ.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	การใช้เครื่องมือในการสร้าง.....	.....	.....	.....	.....	.....
6	ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
7	ประสิทธิภาพการใช้งาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
8	เวลาในการสร้าง.....	.....	.....	.....	.....	.....
9	ความถูกต้องของการใช้เครื่องมือทดสอบ...	.....	.....	.....	.....	.....
10	ขั้นตอนการตรวจสอบ.....	.....	.....	.....	.....	.....
11	ความถูกต้องในการปรับแต่ง.....	.....	.....	.....	.....	.....
12	ประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับแต่ง.....	.....	.....	.....	.....	.....

<u>ตอนที่ 1</u> ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิที่มีต่อแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย

คำชี้แจง :- กรุณาใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่องว่างที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ข้อที่	ข้อความ	ระดับคะแนน				
		5	4	3	2	1
1	ความถูกต้องในการออกแบบ.....	.....	.....	.....	.....	.....
2	เวลาในการออกแบบ.....	.....	.....	.....	.....	.....
3	การเตรียมเครื่องมือ.....	.....	.....	.....	.....	.....
4	การใช้เครื่องมือในการสร้าง.....	.....	.....	.....	.....	.....
5	ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
6	ประสิทธิภาพการใช้งาน.....	.....	.....	.....	.....	.....
7	เวลาในการสร้าง.....	.....	.....	.....	.....	.....
8	ความถูกต้องของการใช้เครื่องมือทดสอบ...	.....	.....	.....	.....	.....
9	ขั้นตอนการตรวจสอบ.....	.....	.....	.....	.....	.....
10	ความถูกต้องในการปรับแต่ง.....	.....	.....	.....	.....	.....
11	ประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับแต่ง.....	.....	.....	.....	.....	.....

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

โปรดเขียนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ

1. ความคิดเห็นอื่นๆ เกี่ยวกับแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหน่วยที่1-6

.....

.....

.....

.....

.....

2. ความคิดเห็นอื่นๆ เกี่ยวกับแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย

.....

.....

.....

.....

.....

3. ความคิดเห็นอื่นๆ และข้อเสนอแนะโดยทั่วไป

.....

.....

.....

.....

.....

.....

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ใบงานที่ 1 ระบบสายอากาศโทรทัศน์

ผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	**ระดับคะแนน**				
	ควรปรับปรุง (1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์ (15 คะแนน)					
1.1 การเตรียมเครื่องมือติดตั้ง (5)	1	2	3	4	5
1.2 ขั้นตอนการติดตั้ง (5)	1	2	3	4	5
1.3 เวลาที่ใช้ในการติดตั้ง (5)	1	2	3	4	5
(2) การทดสอบสายอากาศโทรทัศน์ (15 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.3 ประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับแต่ง (5)	1	2	3	4	5
(3) การบันทึกผลการทดลอง (10)	2	4	6	8	10
(4) การตอบคำถามท้ายการทดลอง(20)	4	8	12	16	20
(5) แบบประเมินหน่วยที่ 1 (10)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ภาคทฤษฎี 30% คือ ..... ภาคปฏิบัติ 70% คือ.....				

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

1. การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์

1.1 การเตรียมเครื่องมือติดตั้ง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.1.1 เตรียมเครื่องมือได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
1.1.2 เตรียมเครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
1.1.3 เตรียมเครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
1.1.4 เตรียมเครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
1.1.5 เตรียมเครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

1.2 ขั้นตอนการติดตั้ง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.2.1 ขั้นตอนการติดตั้งถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
1.2.2 ขั้นตอนการติดตั้งถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
1.2.3 ขั้นตอนการติดตั้งถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
1.2.4 ขั้นตอนการติดตั้งถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
1.2.5 ขั้นตอนการติดตั้งถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

1.3 เวลาในการติดตั้ง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.3.1 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
1.3.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
1.3.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
1.3.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
1.3.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดเกิน 20 นาทีขึ้นไป	1

2. การทดสอบสายอากาศโทรทัศน์ (15 คะแนน)

2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.1.2 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.1.3 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.1.4 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.1.5 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.2.1 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.2.2 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.2.3 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.2.4 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.2.5 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.3 ประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับแต่ง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.3.1 วัดค่าความแรงของสัญญาณได้ 65 dB ขึ้นไป	5
2.3.2 วัดค่าความแรงของสัญญาณได้ 50-64 dB	4
2.3.3 วัดค่าความแรงของสัญญาณได้ 40-49 dB	3
2.3.4 วัดค่าความแรงของสัญญาณได้ 30-39 dB	2
2.3.5 วัดค่าความแรงของสัญญาณได้ต่ำกว่า 30 dB	1

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
ใบงานที่ 2 คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน

ผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	**ระดับคะแนน**				
	ควรปรับปรุง (1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง (15 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือติดตั้งอุปกรณ์ (5)	1	2	3	4	5
1.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5)	1	2	3	4	5
1.3 เวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ (5)	1	2	3	4	5
(2) การปฏิบัติการทดลอง (15 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.3 เวลาในการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
(3) การบันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5 คะแนน)	1	2	3	4	5
(4) การบันทึกผลการทดลอง (15 คะแนน)	3	6	9	12	15
(5) การตอบคำถามท้ายการทดลอง (15 คะแนน)	3	6	9	12	15
(6) แบบประเมินหน่วยที่ 2 (10 คะแนน)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ทฤษฎี 30% คือ ..... ปฏิบัติ 70% คือ				

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

1. การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง (15 คะแนน)

1.1 การใช้เครื่องมือติดตั้ง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.1.1 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
1.1.2 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
1.1.3 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
1.1.4 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
1.1.5 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

1.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.2.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
1.2.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
1.2.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
1.2.4 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
1.2.5 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

1.3 เวลาในการติดตั้งอุปกรณ์ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.3.1 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
1.3.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
1.3.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
1.3.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
1.3.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดเกิน 20 นาทีขึ้นไป	1

2. การปฏิบัติการทดลอง (15 คะแนน)

2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.1.2 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.1.3 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.1.4 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.1.5 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.2.1 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.2.2 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.2.3 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.2.4 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.2.5 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.3 เวลาในการทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.3.1 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
2.3.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
2.3.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
2.3.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
2.3.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดเกิน 20 นาทีขึ้นไป	1

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
ใบงานที่ 3 การเพิ่มประสิทธิภาพการส่งและรับสัญญาณ ระหว่างสายส่งและสายอากาศ

ผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	**ระดับคะแนน**				
	ควรปรับปรุง (1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง (15 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือติดตั้งอุปกรณ์ (5)	1	2	3	4	5
1.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5)	1	2	3	4	5
1.3 เวลาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ (5)	1	2	3	4	5
(2) การปฏิบัติการทดลอง (15 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.3 เวลาในการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
(3) การบันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5 คะแนน)	1	2	3	4	5
(4) การบันทึกผลการทดลอง (5 คะแนน)	1	2	3	4	5
(5) การตอบคำถามท้ายการทดลอง (25 คะแนน)	5	10	15	20	25
(6) แบบประเมินหน่วยที่ 3 (10 คะแนน)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ทฤษฎี 30% คือ ..... ปฏิบัติ 70% คือ				

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

1. การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง (15 คะแนน)

1.1 การใช้เครื่องมือติดตั้ง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.1.1 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
1.1.2 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
1.1.3 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
1.1.4 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
1.1.5 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

1.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.2.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
1.2.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
1.2.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
1.2.4 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
1.2.5 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

1.3 เวลาในการติดตั้งอุปกรณ์ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.3.1ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
1.3.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
1.3.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
1.3.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
1.3.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดเกิน 20 นาทีขึ้นไป	1

2. การปฏิบัติการทดลอง (15 คะแนน)

2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.1.2 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.1.3 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.1.4 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.1.5 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.2.1 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.2.2 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.2.3 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.2.4 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.2.5 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.3 เวลาในการทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.3.1 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
2.3.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
2.3.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
2.3.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
2.3.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดเกิน 20 นาทีขึ้นไป	1

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ใบงานที่ 4 การใช้ Balun และ Stub Matching

ผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	**ระดับคะแนน**				
	ควรปรับปรุง (1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง (15 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือติดตั้งอุปกรณ์ (5)	1	2	3	4	5
1.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5)	1	2	3	4	5
1.3 เวลาที่ใช้ในการติดตั้ง (5)	1	2	3	4	5
(2) การปฏิบัติการทดลอง (15 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.3 เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
(3) การบันทึกการปฏิบัติการทดลอง (5 คะแนน)	1	2	3	4	5
(4) การบันทึกผลการทดลอง (15 คะแนน)	3	6	9	12	15
(5) การตอบคำถามท้ายการทดลอง (15 คะแนน)	3	6	9	12	15
(6) แบบประเมินหน่วยที่ 4 (10 คะแนน)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ภาคทฤษฎี 30 % คือ..... ภาคปฏิบัติ 70 % คือ.....				

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

1. การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง (15 คะแนน)

1.1 การใช้เครื่องมือติดตั้ง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.1.1 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
1.1.2 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
1.1.3 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
1.1.4 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
1.1.5 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

1.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.2.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
1.2.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
1.2.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
1.2.4 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
1.2.5 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

1.3 เวลาในการติดตั้งอุปกรณ์ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.3.1 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
1.3.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
1.3.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
1.3.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
1.3.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดเกิน 20 นาทีขึ้นไป	1

2. การปฏิบัติการทดลอง (15 คะแนน)

2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.1.2 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.1.3 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.1.4 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.1.5 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.2.1 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.2.2 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.2.3 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.2.4 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.2.5 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.3 เวลาในการทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.3.1 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
2.3.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
2.3.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
2.3.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
2.3.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดเกิน 20 นาทีขึ้นไป	1

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ใบงานที่ 5 การแมทช์สายอากาศเข้ากับสายนำสัญญาณ

ผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	**ระดับคะแนน**				
	ควรปรับปรุง (1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง (15 คะแนน)					
1.1 การใช้เครื่องมือติดตั้งอุปกรณ์ (5)	1	2	3	4	5
1.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5)	1	2	3	4	5
1.3 เวลาที่ใช้ในการติดตั้ง (5)	1	2	3	4	5
(2) การปฏิบัติการทดลอง (15 คะแนน)					
2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
2.3 เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (5)	1	2	3	4	5
(3) การบันทึกการปฏิบัติการทดลอง (5 คะแนน)	1	2	3	4	5
(4) การบันทึกผลการทดลอง (5 คะแนน)	1	2	3	4	5
(5) การตอบคำถามท้ายการทดลอง (15 คะแนน)	3	6	9	12	15
(6) แบบประเมินหน่วยที่ 5 (10 คะแนน)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ภาคทฤษฎี 30 % คือ..... ภาคปฏิบัติ 70 % คือ.....				

ผู้ประเมิน ..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

1. การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง (15 คะแนน)

1.1 การใช้เครื่องมือติดตั้ง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.1.1 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
1.1.2 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
1.1.3 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
1.1.4 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
1.1.5 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

1.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.2.1 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
1.2.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
1.2.3 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
1.2.4 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
1.2.5 ขั้นตอนการปฏิบัติงานถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

1.3 เวลาในการติดตั้งอุปกรณ์ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.3.1 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
1.3.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
1.3.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
1.3.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
1.3.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดเกิน 20 นาทีขึ้นไป	1

2. การปฏิบัติการทดลอง (15 คะแนน)

2.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.1.2 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.1.3 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.1.4 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.1.5 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.2 ขั้นตอนการทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.2.1 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.2.2 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.2.3 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.2.4 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.2.5 ขั้นตอนการทดสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.3 เวลาในการทดสอบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.3.1 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
2.3.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
2.3.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
2.3.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
2.3.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดเกิน 20 นาทีขึ้นไป	1

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ใบงานหน่วยที่ 6 การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI

ชื่อผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	**ระดับคะแนน**				
	ควรปรับปรุง (1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI (30 คะแนน)					
1.1 ความถูกต้องในการออกแบบ (15)	3	6	9	12	15
1.2 เวลาในการออกแบบ (5)	1	2	3	4	5
1.3 แบบประเมินหน่วยที่ 6 (10)	2	4	6	8	10
(2) การสร้างสายอากาศแบบ YAGI (30 คะแนน)					
2.1 การเตรียมเครื่องมือ (5)	1	2	3	4	5
2.2 การใช้เครื่องมือในการสร้าง (5)	1	2	3	4	5
2.3 ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน (5)	1	2	3	4	5
2.4 ประสิทธิภาพการใช้งาน (10)	2	4	6	8	10
2.5 เวลาในการสร้าง (5)	1	2	3	4	5
(3) การทดสอบสายอากาศแบบ YAGI (20 คะแนน)					
3.1 ความถูกต้องของการใช้เครื่องมือทดสอบ (10)	2	4	6	8	10
3.2 ขั้นตอนการตรวจสอบ (10)	2	4	6	8	10
(4) การปรับแต่งสายอากาศแบบ YAGI (20 คะแนน)					
4.1 ความถูกต้องในการปรับแต่ง (10)	2	4	6	8	10
4.2 ประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับแต่ง(10)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ภาคทฤษฎี 30 % คือ..... ภาคปฏิบัติ 70 % คือ.....				

ผู้ประเมิน..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

1. การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI (30 คะแนน)

1.1 ความถูกต้องในการออกแบบ (25 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.1.1 ขั้นตอนการออกแบบถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	25 (5)
1.1.2 ขั้นตอนการออกแบบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	20 (4)
1.1.3 ขั้นตอนการออกแบบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	15 (3)
1.1.4 ขั้นตอนการออกแบบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	10 (2)
1.1.5 ขั้นตอนการออกแบบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	5 (1)

1.2 เวลาในการออกแบบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.2.1 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
1.2.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
1.2.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
1.2.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
1.2.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดเกิน 20 นาทีขึ้นไป	1

2. การสร้างสายอากาศแบบ YAGI (30 คะแนน)

2.1 การเตรียมเครื่องมือในการสร้าง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 เตรียมได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.1.2 เตรียมได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.1.3 เตรียมได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.1.4 เตรียมได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.1.5 เตรียมได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.2 การใช้เครื่องมือในการสร้าง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.2.1 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.2.2 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.2.3ใช้เครื่องมือ ได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.2.4 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.2.5 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.3 ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.3.1 อุปกรณ์ได้รับการประกอบอย่างถูกต้องตามแบบโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.3.2 อุปกรณ์ได้รับการประกอบอย่างถูกต้องตามแบบ เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.3.3 อุปกรณ์ได้รับการประกอบอย่างถูกต้องตามแบบ เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.3.4 อุปกรณ์ได้รับการประกอบอย่างถูกต้องตามแบบ เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.3.5 อุปกรณ์ได้รับการประกอบอย่างถูกต้องตามแบบ เมื่อได้รับการแนะนำ มากกว่า 3 จุด	1

2.4 ประสิทธิภาพการใช้งาน (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.4.1 มีค่า VSWR อยู่ในช่วง 1-1.2	10 (5)
2.4.2 มีค่า VSWR อยู่ในช่วง 1.3-1.4	8 (4)
2.4.3 มีค่า VSWR อยู่ในช่วง 1.5-1.6	6 (3)
2.4.4 มีค่า VSWR อยู่ในช่วง 1.7-1.8	4 (2)
2.4.5 มีค่า VSWR มากกว่า 1.8 แต่ไม่เกิน 3	2 (1)

2.5 เวลาที่ใช้ในการสร้าง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.5.1 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
2.5.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
2.5.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
2.5.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
2.5.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 30 นาที	1

3. การทดสอบสายอากาศแบบ YAGI

3.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.1.1 ใช้เครื่องมือทดสอบได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	10 (5)
3.1.2 ใช้เครื่องมือทดสอบได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	8 (4)
3.1.3ใช้เครื่องมือทดสอบได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	6 (3)
3.1.4 ใช้เครื่องมือทดสอบได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	4 (2)
3.1.5 ใช้เครื่องมือทดสอบได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	2 (1)

3.2 ขั้นตอนการตรวจสอบ (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.2.1 ขั้นตอนการตรวจสอบถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	10 (5)
3.2.2 ขั้นตอนการตรวจสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	8 (4)
3.2.3 ขั้นตอนการตรวจสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	6 (3)
3.2.4 ขั้นตอนการตรวจสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	4 (2)
3.2.5 ขั้นตอนการตรวจสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	2 (1)

4. การปรับแต่งสายอากาศแบบ YAGI (20 คะแนน)

4.1 วิธีที่ใช้ในการปรับแต่ง (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
4.1.1 วิธีปรับแต่งถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	10 (5)
4.1.2 วิธีปรับแต่งถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	8 (4)
4.1.3 วิธีปรับแต่งถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	6 (3)
4.1.4 วิธีปรับแต่งถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	4 (2)
4.1.5 วิธีปรับแต่งถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	2 (1)

4.2 ประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับแต่ง (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
4.2.1 ปรับแต่งแล้วสามารถทำให้ค่า SWR อยู่ในช่วง 1-1.2	10 (5)
4.2.2 ปรับแต่งแล้วสามารถทำให้ ค่า SWR อยู่ในช่วง 1.3-1.4	8 (4)
4.2.3 ปรับแต่งแล้วสามารถทำให้ ค่า SWR อยู่ในช่วง 1.5-1.6	6 (3)
4.2.4 ปรับแต่งแล้วสามารถทำให้ ค่า SWR อยู่ในช่วง 1.7-1.8	4 (2)
4.2.5 ปรับแต่งแล้วสามารถทำให้ค่า SWR มากกว่า 1.8 แต่ไม่เกิน 3	2 (1)

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย

การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI

ชื่อผู้ถูกประเมิน ..... **รหัสประจำตัว** .....

หัวข้อให้คะแนน	**ระดับคะแนน**				
	ควรปรับปรุง (1)	พอใช้ (2)	ปานกลาง (3)	ดี (4)	ดีมาก (5)
(1) การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI (30 คะแนน)					
1.1 ความถูกต้องในการออกแบบ (25)	5	10	15	20	25
1.2 เวลาในการออกแบบ (5)	1	2	3	4	5
(2) การสร้างสายอากาศแบบ YAGI (30 คะแนน)					
2.1 การเตรียมเครื่องมือ (5)	1	2	3	4	5
2.2 การใช้เครื่องมือในการสร้าง (5)	1	2	3	4	5
2.3 ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน (5)	1	2	3	4	5
2.4 ประสิทธิภาพการใช้งาน (10)	2	4	6	8	10
2.5 เวลาในการสร้าง (5)	1	2	3	4	5
(3) การทดสอบสายอากาศแบบ YAGI (20 คะแนน)					
3.1 ความถูกต้องของการใช้เครื่องมือทดสอบ (10)	2	4	6	8	10
3.2 ขั้นตอนการตรวจสอบ (10)	2	4	6	8	10
(4) การปรับแต่งสายอากาศแบบ YAGI (20 คะแนน)					
4.1 ความถูกต้องในการปรับแต่ง (10)	2	4	6	8	10
4.2 ประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับแต่ง (10)	2	4	6	8	10
คะแนนรวม	ภาคทฤษฎี 30 % คือ..... ภาคปฏิบัติ 70 % คือ.....				

ผู้ประเมิน..... **วันที่** ..... **เดือน** ..... **พ.ศ** .....

(.....)

1. การออกแบบสายอากาศแบบ YAGI (30 คะแนน)

1.1 ความถูกต้องในการออกแบบ (25 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.1.1 ขั้นตอนการออกแบบถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	25 (5)
1.1.2 ขั้นตอนการออกแบบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	20 (4)
1.1.3 ขั้นตอนการออกแบบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	15 (3)
1.1.4 ขั้นตอนการออกแบบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	10 (2)
1.1.5 ขั้นตอนการออกแบบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	5 (1)

1.2 เวลาในการออกแบบ (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
1.2.1 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
1.2.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
1.2.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
1.2.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
1.2.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดเกิน 20 นาทีขึ้นไป	1

2. การสร้างสายอากาศแบบ YAGI (30 คะแนน)

2.1 การเตรียมเครื่องมือในการสร้าง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.1.1 เตรียมได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.1.2 เตรียมได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.1.3 เตรียมได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.1.4 เตรียมได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.1.5 เตรียมได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.2 การใช้เครื่องมือในการสร้าง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.2.1 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.2.2 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.2.3 ใช้เครื่องมือ ได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.2.4 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.2.5 ใช้เครื่องมือได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	1

2.3 ความสมบูรณ์ของชิ้นงาน (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.3.1 อุปกรณ์ได้รับการประกอบอย่างถูกต้องตามแบบโดยไม่มีจุดแนะนำ	5
2.3.2 อุปกรณ์ได้รับการประกอบอย่างถูกต้องตามแบบ เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	4
2.3.3 อุปกรณ์ได้รับการประกอบอย่างถูกต้องตามแบบ เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	3
2.3.4 อุปกรณ์ได้รับการประกอบอย่างถูกต้องตามแบบ เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	2
2.3.5 อุปกรณ์ได้รับการประกอบอย่างถูกต้องตามแบบ เมื่อได้รับการแนะนำ มากกว่า 3 จุด	1

2.4 ประสิทธิภาพการใช้งาน (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.4.1 มีค่า VSWR อยู่ในช่วง 1-1.2	10 (5)
2.4.2 มีค่า VSWR อยู่ในช่วง 1.3-1.4	8 (4)
2.4.3 มีค่า VSWR อยู่ในช่วง 1.5-1.6	6 (3)
2.4.4 มีค่า VSWR อยู่ในช่วง 1.7-1.8	4 (2)
2.4.5 มีค่า VSWR มากกว่า 1.8 แต่ไม่เกิน 3	2 (1)

2.5 เวลาที่ใช้ในการสร้าง (5 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
2.5.1 ทำเสร็จก่อนเวลาที่กำหนด	5
2.5.2 ทำเสร็จตรงตามเวลาที่กำหนด	4
2.5.3 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 10 นาที	3
2.5.4 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 20 นาที	2
2.5.5 ทำเสร็จช้ากว่าเวลาที่กำหนดไม่เกิน 30 นาที	1

3. การทดสอบสายอากาศแบบ YAGI

3.1 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือทดสอบ (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.1.1 ใช้เครื่องมือทดสอบได้ถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	10 (5)
3.1.2 ใช้เครื่องมือทดสอบได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	8 (4)
3.1.3ใช้เครื่องมือทดสอบได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	6 (3)
3.1.4 ใช้เครื่องมือทดสอบได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	4 (2)
3.1.5 ใช้เครื่องมือทดสอบได้ถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	2 (1)

3.2 ขั้นตอนการตรวจสอบ (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
3.2.1 ขั้นตอนการตรวจสอบถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	10 (5)
3.2.2 ขั้นตอนการตรวจสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	8 (4)
3.2.3 ขั้นตอนการตรวจสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	6 (3)
3.2.4 ขั้นตอนการตรวจสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	4 (2)
3.2.5 ขั้นตอนการตรวจสอบถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	2 (1)

4. การปรับแต่งสายอากาศแบบ YAGI (20 คะแนน)

4.1 วิธีที่ใช้ในการปรับแต่ง (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
4.1.1 วิธีปรับแต่งถูกต้องโดยไม่มีจุดแนะนำ	10 (5)
4.1.2 วิธีปรับแต่งถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 1 จุด	8 (4)
4.1.3 วิธีปรับแต่งถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 2 จุด	6 (3)
4.1.4 วิธีปรับแต่งถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำ 3 จุด	4 (2)
4.1.5 วิธีปรับแต่งถูกต้อง เมื่อได้รับการแนะนำมากกว่า 3 จุด	2 (1)

4.2 ประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับแต่ง (10 คะแนน)

หัวข้อการประเมิน	ระดับคะแนน
4.2.1 ปรับแต่งแล้วสามารถทำให้ค่า SWR อยู่ในช่วง 1-1.2	10 (5)
4.2.2 ปรับแต่งแล้วสามารถทำให้ ค่า SWR อยู่ในช่วง 1.3-1.4	8 (4)
4.2.3 ปรับแต่งแล้วสามารถทำให้ ค่า SWR อยู่ในช่วง 1.5-1.6	6 (3)
4.2.4 ปรับแต่งแล้วสามารถทำให้ ค่า SWR อยู่ในช่วง 1.7-1.8	4 (2)
4.2.5 ปรับแต่งแล้วสามารถทำให้ค่า SWR มากกว่า 1.8 แต่ไม่เกิน 3	2 (1)

ภาคผนวก จ

ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ

ตารางที่ จ1 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านชุดทดลองเพื่อหาคุณภาพ

หัวข้อที่	ระดับคะแนนผู้ทรงคุณวุฒิคนที่			รวมคะแนน	$\overline{X}$	S.D	ระดับคุณภาพ
	1	2	3				
1	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
2	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
3	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
4	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
5	5	5	4	14	4.67	0.58	ดีมาก
6	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
7	5	5	4	14	4.67	0.58	ดีมาก
8	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
9	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
10	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
11	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
12	5	5	5	15	5	0	ดีมาก
รวม					4.95	0.10	ดีมาก

1. การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ($\overline{X}$) ใช้สูตรดังนี้

$$\overline{\mathrm{X}} = \frac{\sum X}{N}$$

2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.DX) ใช้สูตรดังนี้

$$\mathrm{S.D.} = \sqrt{\frac{\mathrm{N}\sum X^2 - (\sum \mathrm{X})^2}{\mathrm{N}(\mathrm{N}-1)}}$$

ตารางที่ จ2 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านเนื้อหาและใบงาน เพื่อหาคุณภาพ

หัวข้อที่	ระดับคะแนนผู้ทรงคุณวุฒิคนที่			รวม คะแนน	$\overline{X}$	S.D	ระดับ คุณภาพ
	1	2	3				
1	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
2	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
3	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
4	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
5	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
6	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
7	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
8	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
9	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
10	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
11	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
รวม					4.52	0.58	ดีมาก

1. การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ($\overline{X}$) ใช้สูตรดังนี้

$$\overline{\mathrm{X}} = \frac{\sum X}{N}$$

2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.DX) ใช้สูตรดังนี้

$$\mathrm{S.D.} = \sqrt{\frac{\mathrm{N}\sum X^2 - (\sum \mathrm{X})^2}{\mathrm{N}(\mathrm{N}-1)}}$$

ตารางที่ จ3 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยที่ 1

หัวข้อที่	ระดับคะแนนของผู้ทรงคุณวุฒิคนที่			รวม คะแนน	$\overline{X}$	S.D	ระดับ คุณภาพ
	1	2	3				
1	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
2	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
3	5	4	4	13	4.33	0.58	ดี
4	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
5	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
6	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
7	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
8	5	5	4	14	4.67	0.58	ดีมาก
รวม					4.21	0.29	ดี

1. การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ($\overline{X}$) ใช้สูตรดังนี้

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.DX) ใช้สูตรดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

ตารางที่ จ4 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยที่ 2

หัวข้อที่	ระดับคะแนนของผู้ทรงคุณวุฒิคนที่			รวม คะแนน	$\overline{X}$	S.D	ระดับ คุณภาพ
	1	2	3				
1	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
2	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
3	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
4	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
5	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
6	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
7	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
8	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
9	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
10	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
รวม					4.34	0.29	ดี

1. การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ($\overline{X}$) ใช้สูตรดังนี้

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.DX) ใช้สูตรดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

ตารางที่ จ5 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยที่ 3

หัวข้อที่	ระดับคะแนนของผู้ทรงคุณวุฒิคนที่			รวมคะแนน	$\overline{X}$	S.D	ระดับคุณภาพ
	1	2	3				
1	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
2	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
3	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
4	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
5	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
6	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
7	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
8	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
9	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
10	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
รวม					4.13	0.23	ดี

1. การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ($\overline{X}$) ใช้สูตรดังนี้

$$\overline{\mathrm{X}} = \frac{\sum X}{N}$$

2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.DX) ใช้สูตรดังนี้

$$\mathrm{S.D.} = \sqrt{\frac{\mathrm{N}\sum X^2 - (\sum \mathrm{X})^2}{\mathrm{N}(\mathrm{N}-1)}}$$

ตารางที่ จ6 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยที่ 4

หัวข้อที่	ระดับคะแนนของผู้ทรงคุณวุฒิคนที่			รวม คะแนน	$\overline{X}$	S.D	ระดับ คุณภาพ
	1	2	3				
1	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
2	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
3	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
4	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
5	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
6	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
7	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
8	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
9	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
10	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
รวม					4.37	0.52	ดี

1. การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ($\overline{X}$) ใช้สูตรดังนี้

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.DX) ใช้สูตรดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

ตารางที่ จ7 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยที่ 5

หัวข้อที่	ระดับคะแนนของผู้ทรงคุณวุฒิคนที่			รวมคะแนน	$\overline{X}$	S.D	ระดับคุณภาพ
	1	2	3				
1	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
2	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
3	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
4	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
5	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
6	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
7	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
8	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
9	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
10	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
รวม					4.30	0.46	ดี

1. การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ($\overline{X}$) ใช้สูตรดังนี้

$$\overline{\mathrm{X}} = \frac{\sum X}{N}$$

2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.DX) ใช้สูตรดังนี้

$$\mathrm{S.D.} = \sqrt{\frac{\mathrm{N}\sum X^2 - (\sum \mathrm{X})^2}{\mathrm{N}(\mathrm{N}-1)}}$$

ตารางที่ จ8 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หน่วยที่ 6

หัวข้อที่	ระดับคะแนนของผู้ทรงคุณวุฒิคนที่			รวมคะแนน	$\overline{X}$	S.D	ระดับคุณภาพ
	1	2	3				
1	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
2	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
3	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
4	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
5	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
6	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
7	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
8	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
9	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
10	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
11	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
12	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
รวม					4.25	0.41	ดี

1. การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ($\overline{X}$) ใช้สูตรดังนี้

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.DX) ใช้สูตรดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

ตารางที่ จ9 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ด้านแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย

หัวข้อที่	ระดับคะแนนของผู้ทรงคุณวุฒิคนที่			รวมคะแนน	$\overline{X}$	S.D	ระดับคุณภาพ
	1	2	3				
1	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
2	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
3	4	5	5	14	4.67	0.58	ดีมาก
4	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
5	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
6	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
7	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
8	4	4	5	13	4.33	0.58	ดี
9	4	5	4	13	4.33	0.58	ดี
10	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
11	4	4	4	12	4.00	0.00	ดี
รวม					4.25	0.32	ดี

1. การหาค่าคะแนนเฉลี่ยของแบบแสดงความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ ($\overline{X}$) ใช้สูตรดังนี้

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

2. การหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.DX) ใช้สูตรดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{N\sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)}}$$

ตารางที่ จ10 แสดงรายละเอียดคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ระหว่างปฏิบัติการทดลองแต่ละหัวข้อใบงานของนักศึกษา จำนวน 20 คน

คนที่	ใบงานหน่วยที่												รวม (คะแนน)
	1		2		3		4		5		6		
	30	70	30	70	30	70	30	70	30	70	30	70	600
1	22	67	23	66	24	67	24	64	24	67	26	64	538
2	23	70	24	66	24	68	16	64	26	70	27	64	542
3	22	67	24	66	24	61	23	70	24	68	27	62	538
4	28	61	22	66	23	67	24	70	24	68	27	60	540
5	22	67	28	70	24	67	24	66	26	70	27	64	555
6	23	70	24	66	24	67	24	60	24	63	27	64	536
7	24	65	22	70	23	70	20	70	28	70	23	64	549
8	23	65	23	63	22	54	24	63	25	65	23	56	506
9	24	61	24	62	26	67	24	67	24	68	27	63	537
10	25	67	24	66	24	67	29	63	28	67	27	63	550
11	25	70	24	67	24	70	25	70	23	70	26	65	559
12	22	65	24	66	24	67	25	63	24	65	28	60	533
13	24	68	29	63	23	67	24	63	29	70	27	65	552
14	23	58	23	60	24	68	24	66	24	67	27	58	522
15	23	68	24	69	26	70	25	70	23	68	23	60	549
16	24	70	26	66	22	68	23	66	23	70	27	62	547
17	22	65	24	67	23	70	29	66	24	63	28	64	545
18	24	61	20	51	23	56	22	59	23	61	23	57	480
19	24	68	28	70	23	70	24	60	22	70	27	61	547
20	24	65	23	62	24	68	25	70	23	68	23	58	533

ตารางที่ จ11 แสดงรายละเอียดคะแนนของแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย ของนักศึกษา จำนวน 20 คน

คนที่	แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ขั้นสุดท้าย		รวม
	30	**70**	**(100)**
1	29	64	93
2	30	64	94
3	29	64	93
4	29	62	91
5	29	64	93
6	29	65	94
7	30	64	94
8	25	64	89
9	29	64	93
10	30	65	95
11	29	64	93
12	30	59	89
13	30	64	94
14	29	58	87
15	29	65	94
16	29	64	93
17	30	64	94
18	25	58	83
19	29	62	91
20	30	61	91

ตารางที่ จ12 แสดงคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลอง หน่วยที่ 1-6 และคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้าย ของนักศึกษา จำนวน 20 คน

คนที่	คะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลอง ใบงานหน่วยที่ 1 – 6 ของนักศึกษา (เต็ม 600 คะแนน)	คะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้ายของนักศึกษา (เต็ม 100 คะแนน)
1	538	93
2	542	94
3	538	93
4	540	91
5	555	93
6	536	94
7	549	94
8	506	89
9	537	93
10	550	95
11	559	93
12	533	89
13	552	94
14	522	87
15	549	94
16	547	93
17	545	94
18	480	83
19	547	91
20	533	91
รวม $\sum x = 10,758$		$\sum y = 1,838$

ประสิทธิภาพที่ได้จากคะแนนแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างปฏิบัติการทดลองใบงานหน่วยที่ 1 – 6 ของนักศึกษา คิดเป็นร้อยละ

$$E_1 = \frac{\left[\frac{10,758}{20}\right]}{600} \times 100$$

$$= 89.00\ \%$$

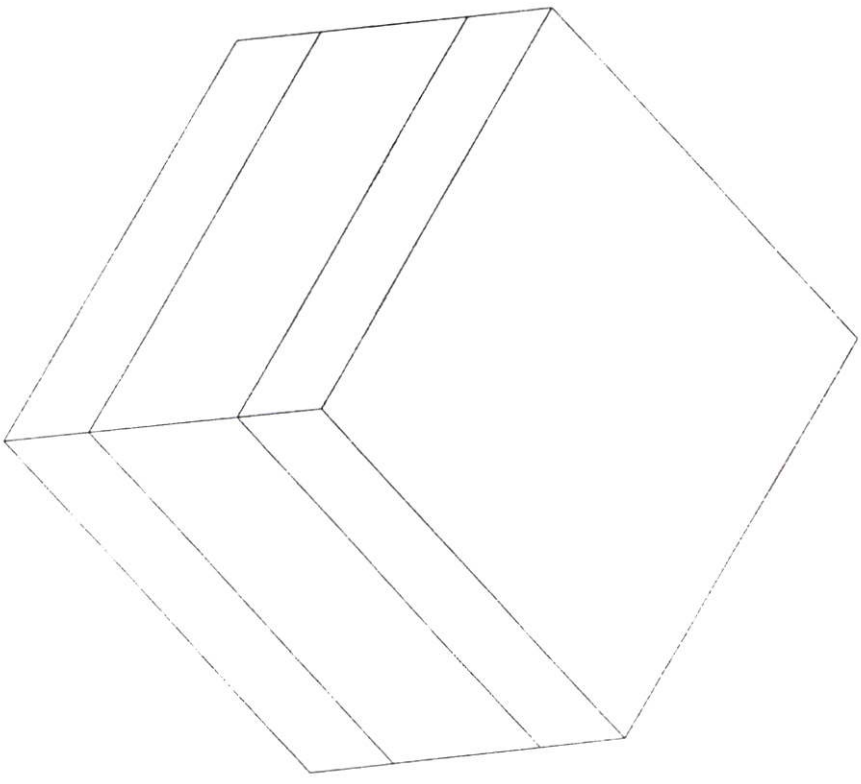
ประสิทธิภาพที่ได้จากแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนขั้นสุดท้ายของนักศึกษา คิดเป็นร้อยละ

$$E_2 = \frac{\left[\frac{1,838}{20}\right]}{100} \times 100$$

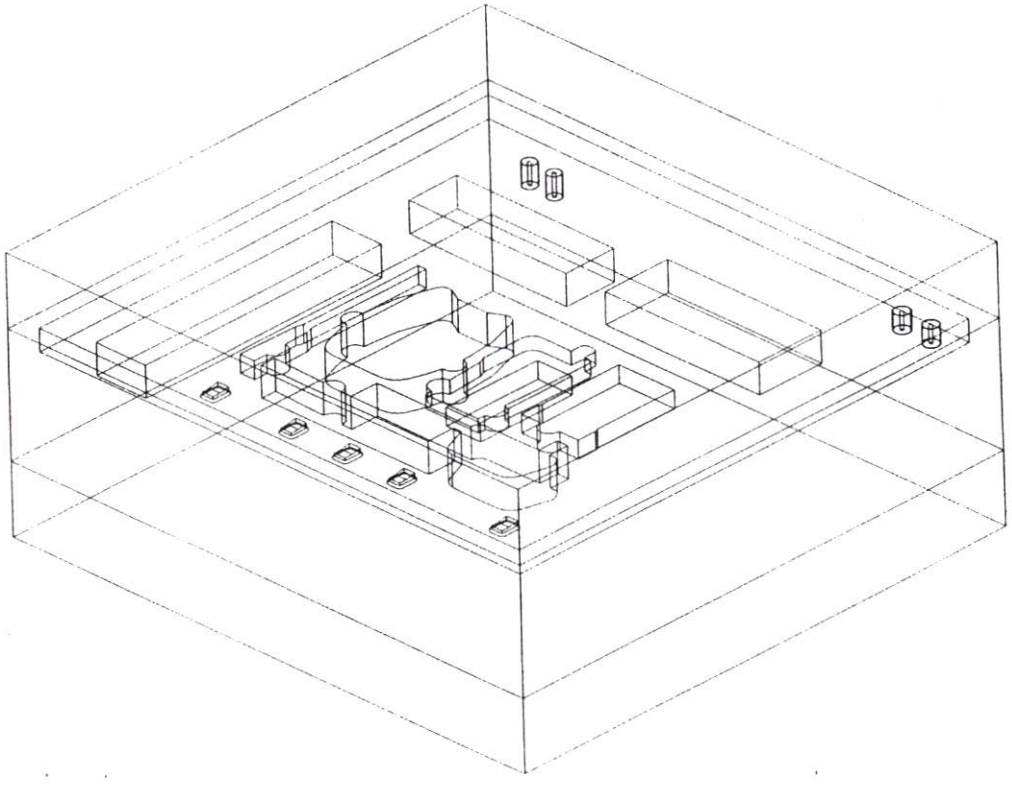
$$= 91.90\ \%$$

ภาคผนวก ฉ

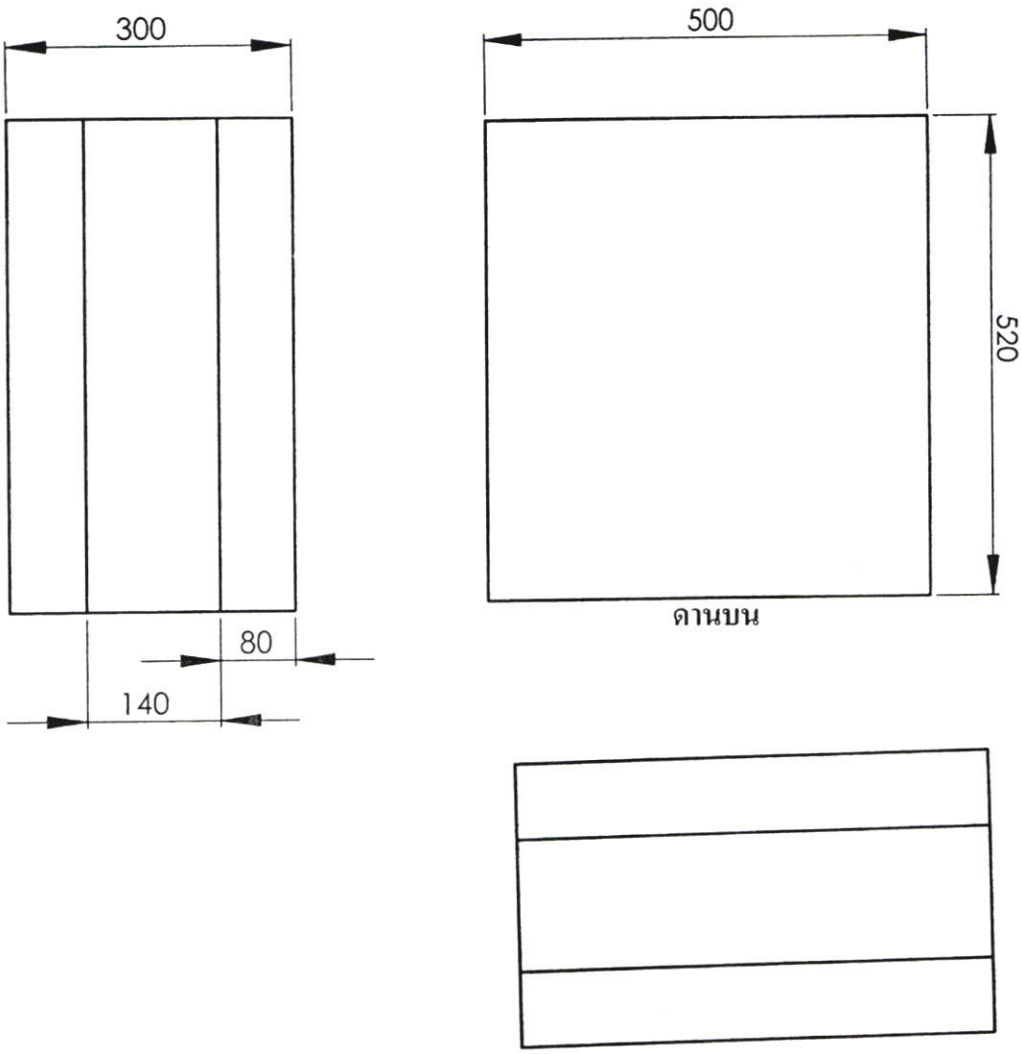
รูปแบบชุดทดลองสายอากาศ



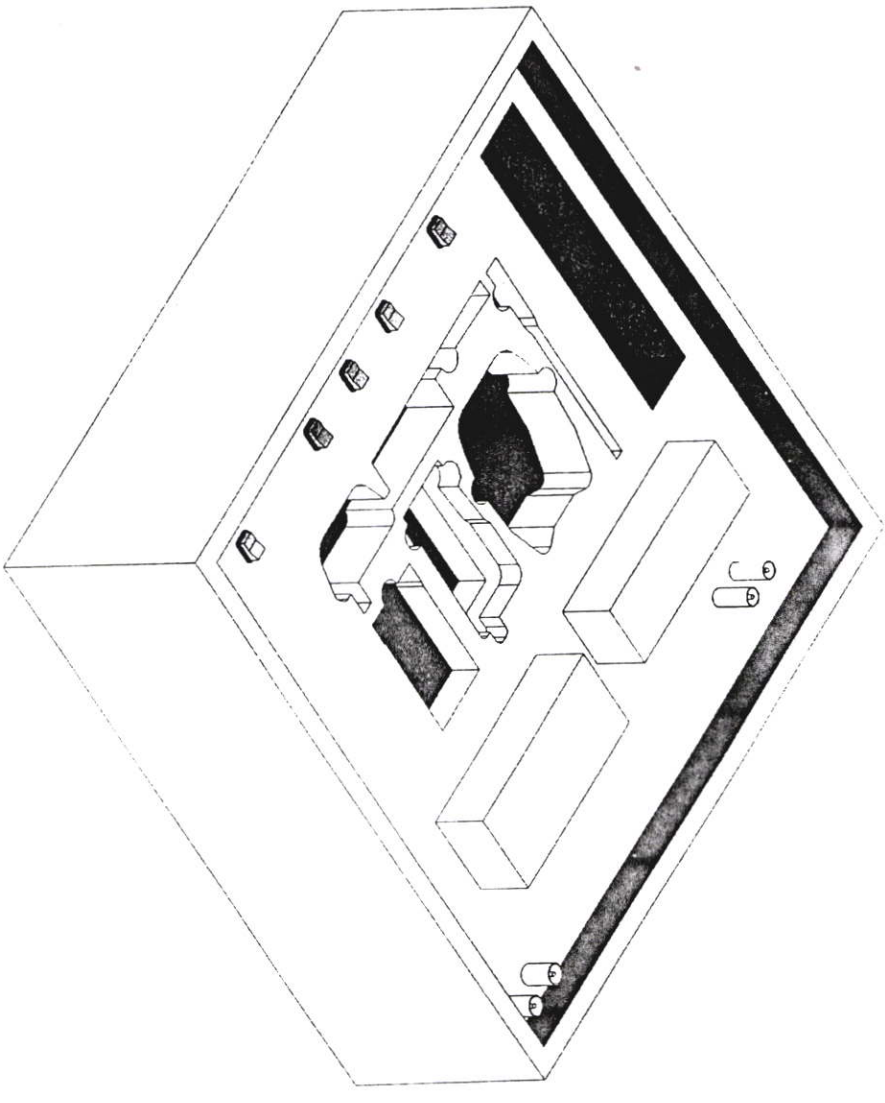
รูปที่ ฉ1 แสดงรูปแบบตัวอย่าง กล่องชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI



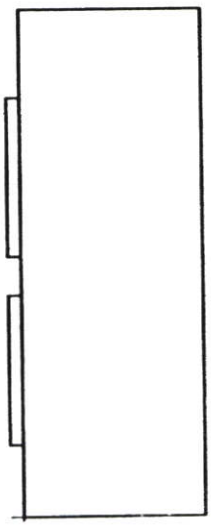
รูปที่ ฉ2 แสดงรูปแบบตัวอย่าง การจัดวางอุปกรณ์ภายในกล่อง



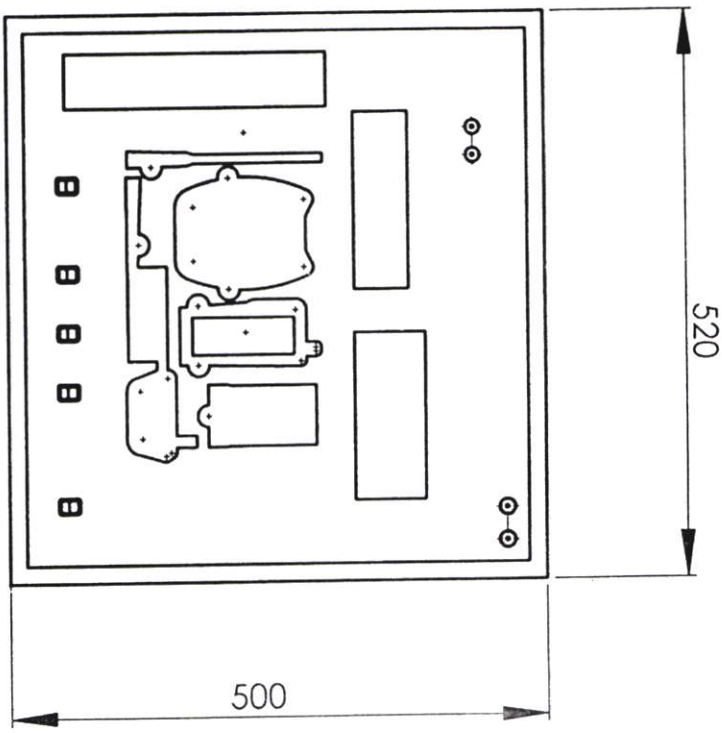
รูปที่ ฉ3 แสดงรูปแบบตัวอย่าง โครงสร้างชุดฝึกด้านบน ด้านข้าง



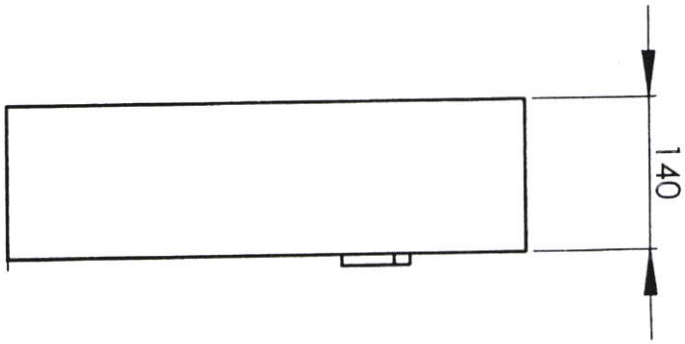
รูปที่ ฉ4 แสดงรูปแบบตัวอย่าง การติดตั้งอุปกรณ์ภายในชุดทดลอง



ฝากล่องด้านหน้า

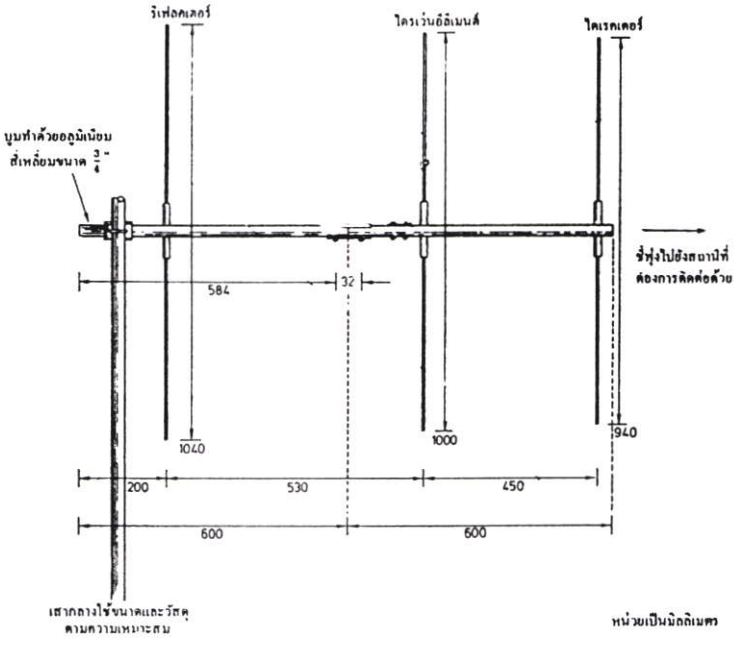


กล่องด้านบน

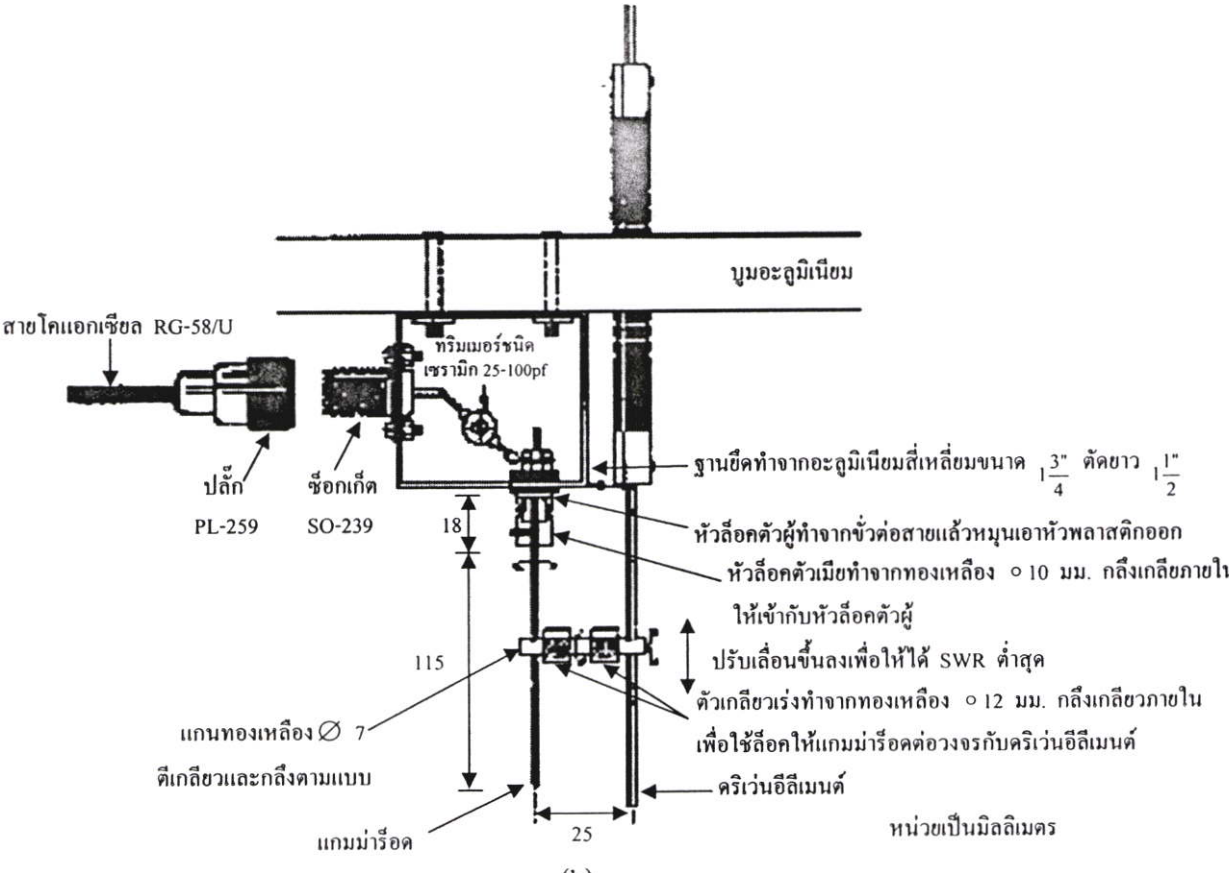


ฝากล่องด้านข้าง

รูปที่ ฉ5 แสดงรูปแบบตัวอย่าง การติดตั้งอุปกรณ์ภายในชุดทดลอง



(a)



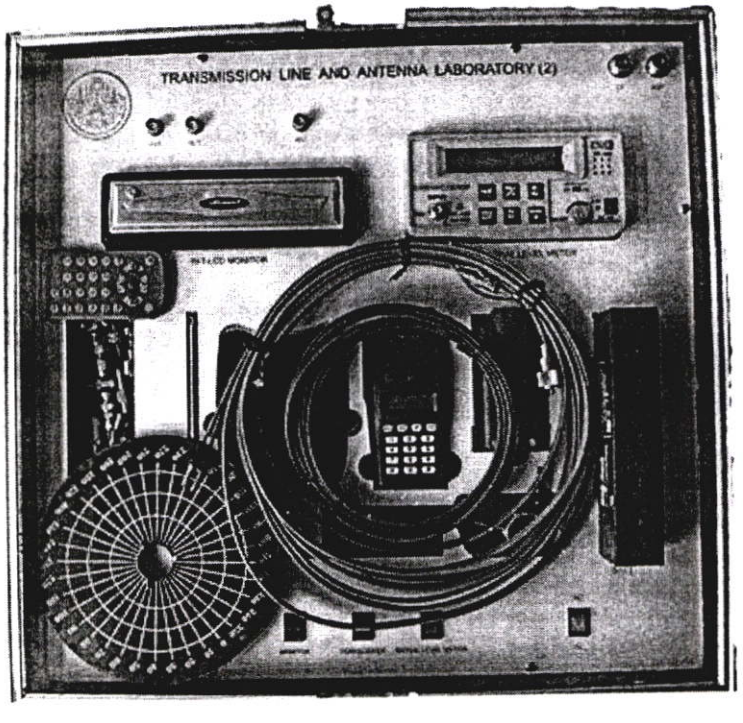
(b)

a แสดงการติดตั้งชุดสายอากาศแบบ YAGI

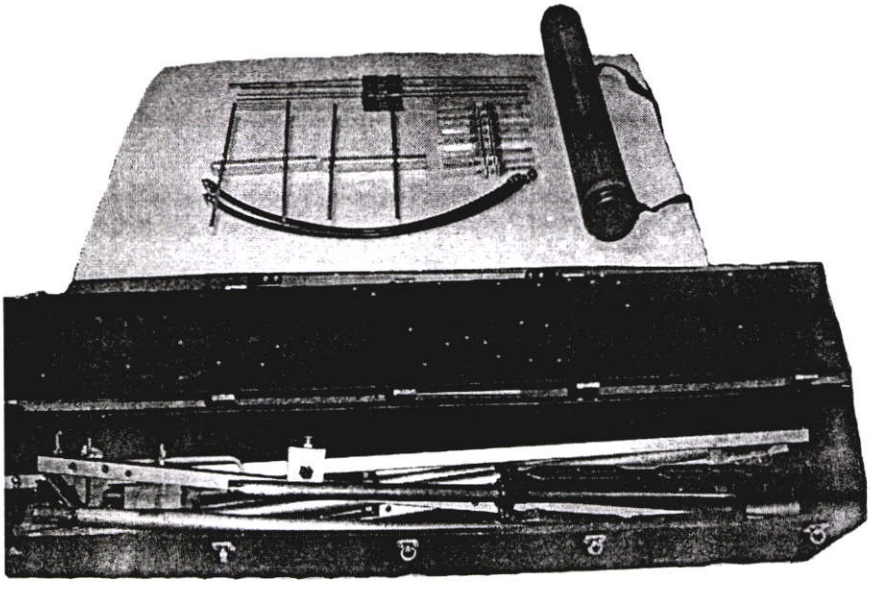
b แสดงการประกอบดริเว่นอีลีเมนต์เข้ากับบูม

รูปที่ ฉ6 แสดงการติดตั้งสายอากาศแบบ YAGI

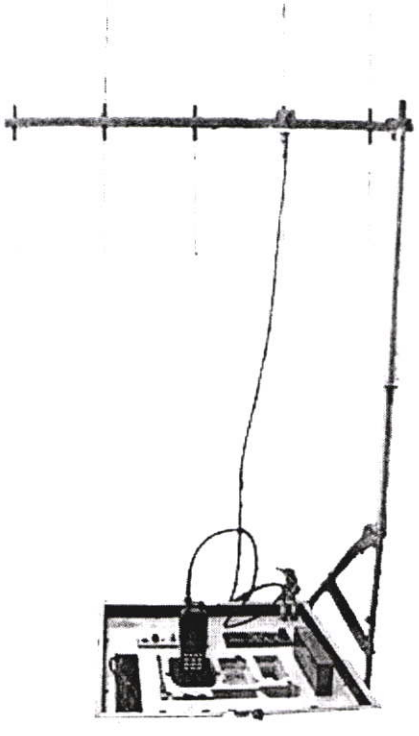
รูปที่ ฉ7 แสดงรูปกล่อง Transmission Line and Amtenna Lab 1



รูปที่ ฉ8 แสดงรูปกล่อง Transmission Line and Amtenna Lab 2



รูปที่ ฉ9 แสดงรูปกล่องเก็บอุปกรณ์สายอากาศและสายทำสัญญาณ



รูปที่ ฉ10 แสดงรูปสายอากาศแบบ YAGI ที่ต่อใช้งาน

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายวีรศักดิ์ จันทร์ละมุนมา		
วัน เดือน ปีเกิด	12 สิงหาคม 2508		
สถานที่เกิด	จังหวัดบุรีรัมย์		
ที่อยู่ปัจจุบัน	326/1 ถ.จิระ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ 31000		
อาชีพ	25 มิ.ย. 2533	ตำแหน่ง ครู 2	วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด
	16 พ.ค. 2540	ตำแหน่ง อาจารย์ 1	วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์
	4 ธ.ค. 2547	ตำแหน่ง ครู คศ. 2	วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์
	7 ก.พ. 2548	หัวหน้าแผนกวิชาอิเล็กทรอนิกส์	วิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล		