

ภาคผนวก ข

แผนการสอนและแบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

	แผนการสอน	หน่วยที่ 1
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 1
	ชื่อหน่วย การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์	
เรื่อง/งาน การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์เพื่อการรับชม		จำนวนคาบ 4
หัวข้อเรื่อง ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับชนิดของสายอากาศโทรทัศน์ สายอากาศแบบไดโพล แผงรับสัญญาณแบบ Yagi Dipole สายนำสัญญาณ ตัวปรับอิมพีแดนซ์สายอากาศ การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน์ สาระการเรียนรู้ 1. ชนิดของสายอากาศโทรทัศน์ 2. สายอากาศแบบไดโพล 3. แผงรับสัญญาณแบบ Yagi Dipole 4. สายนำสัญญาณโทรทัศน์ 5. ตัวปรับอิมพีแดนซ์สายอากาศ 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 สายนำสัญญาณโทรทัศน

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 5 ตัวปรับอิมพีแดนซ์สายอากาศ

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 6 การติดตั้งสายอากาศโทรทัศน

มาตรฐานที่ 3 ออกแบบ ติดตั้ง วัดและทดสอบคุณสมบัติสายส่งสายอากาศ และ Phasing Line

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

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 ดี ชมของครู พร้อมทั้งช่วยกันแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล และช่วยกันแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อนำไปปฏิบัติให้ถูกต้องในโอกาสต่อไป
10. นักศึกษาทำแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 1 เปลี่ยนกันตรวจ โดยดูเฉลยบนกระดานเสร็จแล้วส่งผลคะแนนให้ครู

ขั้นสรุปและการประยุกต์

11. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปบทเรียน โดยเปิดโอกาสให้ซักถามถ้ามีข้อสงสัยในเรื่องใด

สื่อการเรียนการสอน

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

การวัดผลและการประเมินผล

1. วิธีวัดผล

1. ตรวจสอบแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 1
2. ฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงาน

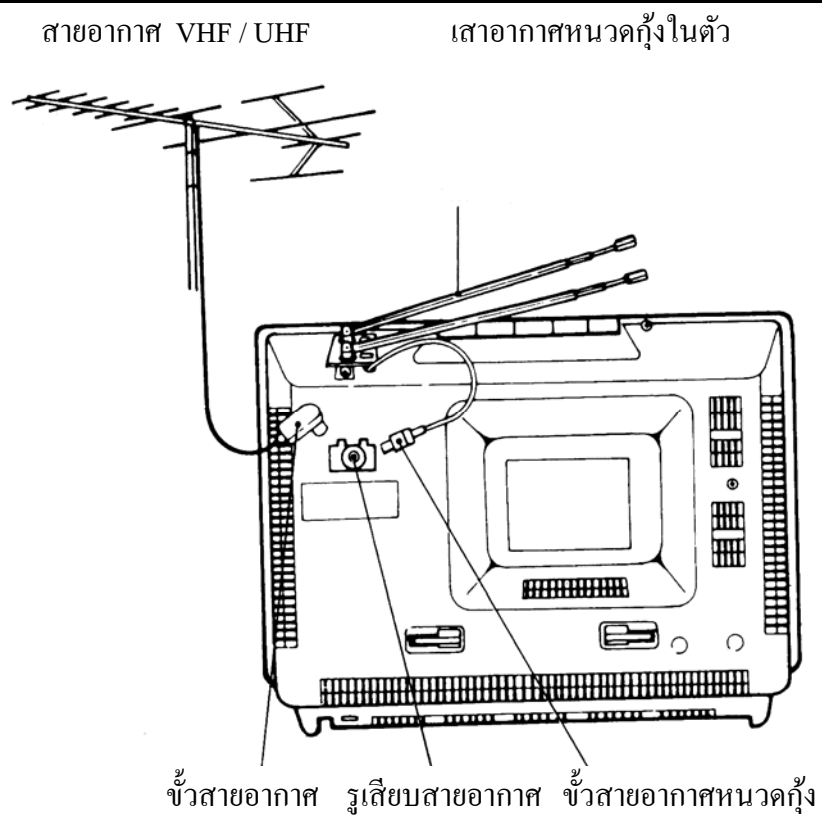
2. เครื่องมือวัดผล

1. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 1
2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ

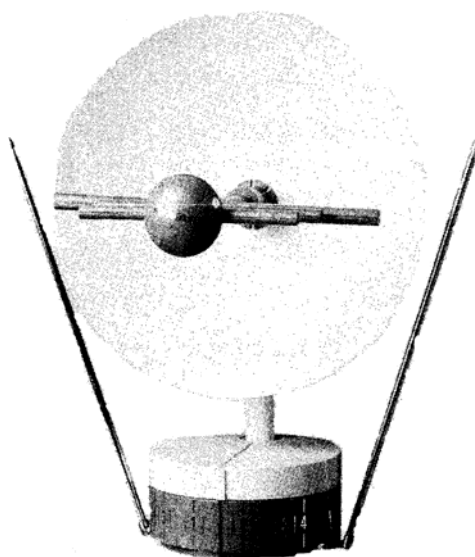
3. เกณฑ์การประเมินผล

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 สายอากาศหนวดกุ้งหรือสายอากาศหูกกระต่าย อาจจะทำติดไว้กับตัวเครื่องรับโทรทัศน์หรือแยกต่างหากวางไว้ใกล้ๆ หรือบนเครื่องรับโทรทัศน์ก็ได้ เสาอากาศแบบหนวดกุ้งอาจจะมี 1 อัน หรือ 2 อัน (ดูรูปที่ ข.1.1) เหมาะกับบริเวณที่มีสัญญาณโทรทัศน์แรงๆ การใช้ก็เพียงแต่ชักเสาขึ้นมาแล้วเอียงหามุมและทิศทางที่ภาพชัด การหดยาวให้สั้นหรือดึงออกให้ยาว รวมกับมุมที่เสาอากาศมีผลต่อการรับช่องต่าง ๆ ไม่เท่ากัน เช่น ถ้าช่องโลว์แบนด์ (2-3-4) จะต้องดึงเสาออกให้ยาวและมุมกว้าง ส่วนช่องไฮแบนด์ (ช่อง 5 ถึง 12) เสาต้องหดให้สั้นหรือมุมแคบจึงจะรับได้ดี เสาอากาศภายในอาจรับไม่ดีเท่าที่ควรและสัญญาณไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมด้วย เช่น มีคนเดินผ่านหรือเครื่องบินบินผ่านอาจทำให้สัญญาณเปลี่ยนแปลงไป และกรณีที่บ้านมีโครงสร้างเป็นเหล็กอาจจะปิดกั้นทางเดินของคลื่น ซึ่งจะทำให้การรับสัญญาณโทรทัศน์ไม่ได้ผล เป็นต้น		



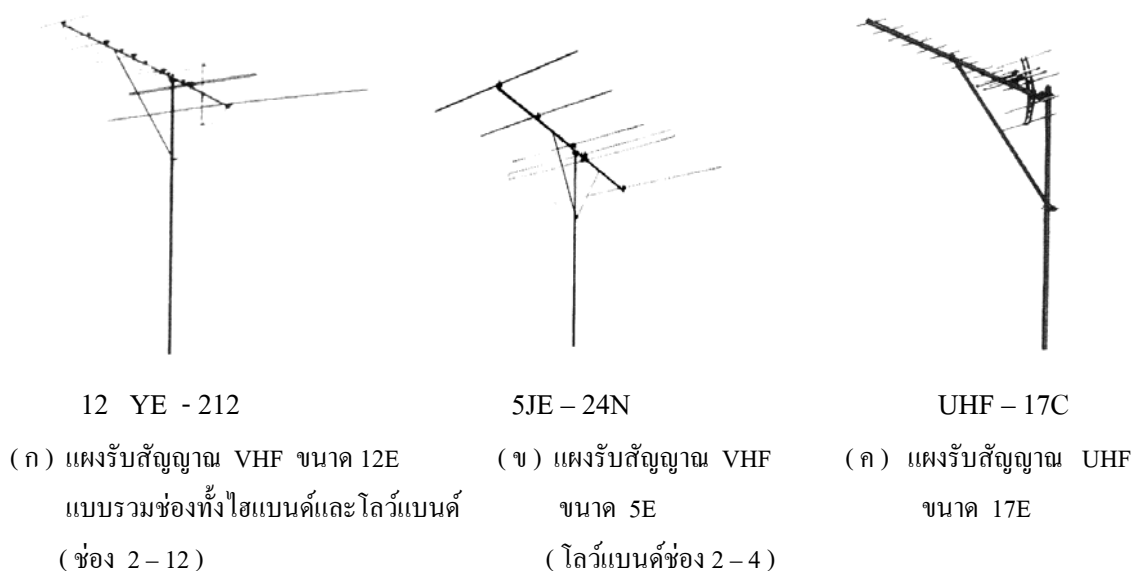
(ก) เสาอากาศภายนอกและเสาหนวดกุ้งในตัวเครื่องรับโทรทัศน์



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

รูปที่ ข1.1 แสดงลักษณะเสาอากาศแบบหนวดกุ้ง

เสาอากาศที่อยู่ภายนอกบ้านจะทำเป็นแผงรับสัญญาณแบบต่างๆ เช่น แบบไดโพล แบบยาเกไดโพล แบบลูปพรีออดิก แบบวงกลม เป็นต้น แต่แบบที่มีประสิทธิภาพสูงและนิยมมากที่สุดคือแบบยาเก ดังรูปที่ ข1.2



รูปที่ ข1.2 แสดงเสาอากาศโทรทัศน์แบบใช้ภายนอกบ้าน (แบบยาเก)

แผงรับสัญญาณแบบยาเกที่ใช้กับเครื่องรับโทรทัศน์แบ่งเป็น 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 ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและการติดตั้งยุ่งยากเหมาะกับพื้นที่ที่สัญญาณโทรทัศน์ช่องต่างๆ มาจากหลายทิศทาง

2. แผงรับสัญญาณ VHF รวมช่อง ใช้รับสัญญาณได้ทั้งไฮแบนด์และโลว์แบนด์ครอบคลุมความถี่โทรทัศน์ตั้งแต่ช่อง 2 ถึงช่อง 12 ประหยัดค่าใช้จ่ายเพราะติดตั้งแผงรับอันเดียวสามารถรับได้ทุกช่อง เหมาะกับบริเวณที่มีสัญญาณโทรทัศน์ทุกช่องมาในทิศทางเดียวกัน

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

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

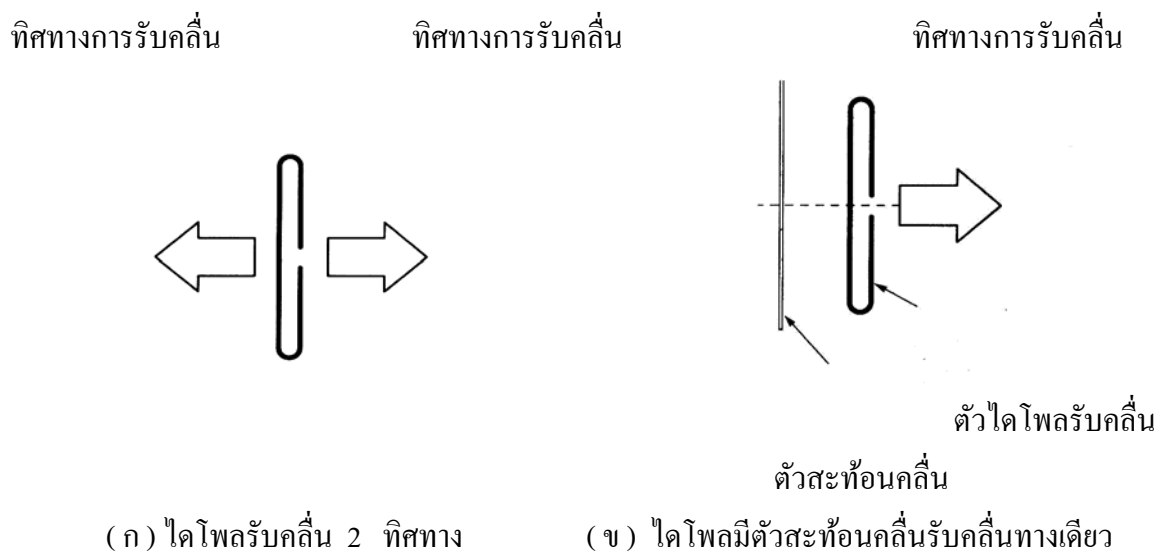
เสาอากาศแบบไดโพล (DIPOLE ANTENNA) ที่ใช้กันอยู่จะเป็นชนิดครึ่งความยาวคลื่น พบเห็นได้ 2 ลักษณะคือ ไดโพลปลายเปิดกับไดโพลปลายปิด ไดโพลปลายเปิดจะมีอิมพีแดนซ์ระหว่างขั้วต่อสายนำสัญญาณประมาณ 75 โอห์ม ส่วนไดโพลปลายปิดจะมีอิมพีแดนซ์ระหว่างขั้วต่อสายนำสัญญาณประมาณ 300 โอห์ม ดังรูปที่ ข1.3



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

รูปที่ ข1.3 แสดงเสาอากาศไดโพล

ลักษณะของตัวนำไดโพลจะมีผลต่อคลื่นไฟฟ้าโดยมีลักษณะเป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม LC สัญญาณความถี่ที่จะไหลในไดโพลได้มากที่สุดคือ ความถี่รีโซแนนซ์ จากการทดลองค่าความยาวของไดโพลที่ได้ผลดีและประหยัดคือ ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ในการรับสัญญาณนั้น ไดโพลจะรับสัญญาณในทิศทางตั้งฉากกับไดโพลทั้ง 2 ทางได้แรง นั่นก็คือ คลื่นโทรทัศน์ที่แพร่กระจายมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเดินทางมาตัดกับไดโพลแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในไดโพลประมาณ $5 - 50 \mu\text{V}$ สัญญาณจะต้องส่งเข้าสายนำสัญญาณไปเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ต่อไป ดังรูปที่ ข1.4



รูปที่ ข1.4 แสดงทิศทางการรับคลื่นของไดโพล

2.3 แผงรับสัญญาณแบบยาคีไดโพล

แผงรับสัญญาณแบบยาคีไดโพล (YAGI DIPOLE) เป็นไดโพลที่ความยาวคลื่นที่พัฒนาขึ้นมาให้มีอัตราการขยายสูง และมีทิศทางการรับคลื่นรวมทั้งตัดสัญญาณรบกวนด้านหลังได้ ดังนั้นจึงมีชิ้นส่วนหรืออิลิเมนต์เพิ่มขึ้นอีก 2 ส่วนคือ ส่วนสะท้อนคลื่นหรือรีเฟลกเตอร์ มีความยาวกว่าไดโพลประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ วางห่างจากไดโพลประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ของความยาวคลื่น จะมีผลให้ไดโพลรับคลื่นได้ด้านเดียว คลื่นที่เดินทางมาจากข้างหน้าจะเข้าไดโพลและบางส่วนจะสะท้อนจากรีเฟลกเตอร์มาเสริม ทำให้รับคลื่นด้านหน้าได้แรงและตัดการรบกวนด้านหลัง อิลิเมนต์อีกส่วนหนึ่งเป็นตัวชี้นำหรือไดเรกเตอร์ สั้นกว่าไดโพลประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ วางไว้ด้านหน้าของไดโพลเป็นระยะ ๆ มีได้หลายอัน จะทำให้มุมการรับคลื่นด้านหน้าของไดโพลยาวออกไป อัตราการขยายของแผงรับสัญญาณจะสูงขึ้น (HIGH GAIN)

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

อัตราการขยายของแผงรับสัญญาณที่ความถี่หนึ่งจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่อไปนี้

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

การหาขนาดของความยาวของแผงรับสัญญาณ

1. ความยาวของไดโพล = ความยาวคลื่น

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

$$\text{เมื่อ } \lambda \text{ (เมตร)} = \frac{300}{f}$$

โดยที่ f คือความถี่ของช่องที่รับ มีหน่วยเป็น MHz

2. ความยาวของตัวสะท้อนคลื่นให้ยาวกว่าไดโพล 5 เปอร์เซ็นต์

3. ความยาวของตัวชี้หน้าให้สั้นกว่าไดโพล 5 เปอร์เซ็นต์ อันต่อไปสั้นลงอันละ 1 เปอร์เซ็นต์

4. ระยะห่างระหว่างส่วนประกอบ

$$E1 - E2 = 0.2 \lambda$$

$$E2 - E3 = 0.15 \lambda$$

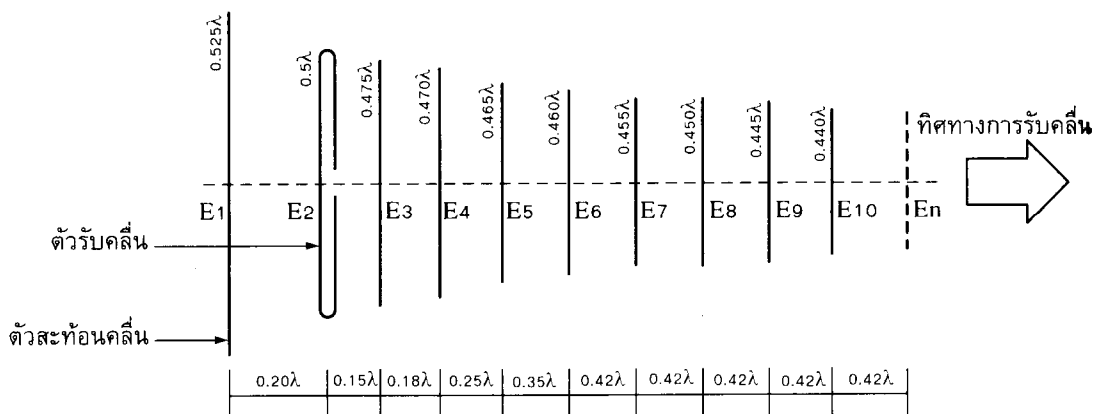
$$E3 - E4 = 0.18 \lambda$$

$$E4 - E5 = 0.25 \lambda$$

$$E5 - E6 = 0.35 - 0.42 \lambda$$

$$E \text{ ต่อๆ ไป} = 0.42 \lambda$$

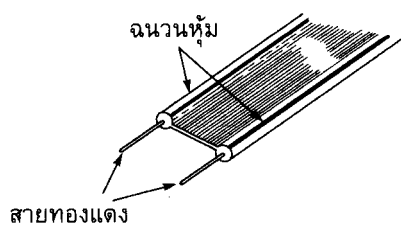
ถ้าสังเกตความยาวและระยะของแผงรับสัญญาณโทรทัศน์ ที่ผลิตจากหลายบริษัท จะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกันแต่ไม่เท่ากันเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้จากการทดลองและความถี่ที่ใช้คำนวณ บางบริษัทจะคิดค่าความต้านทานของโลหะที่ทำให้คลื่นเดินทางเข้าไปด้วยปกติความถี่ที่ใช้คำนวณของแต่ละช่อง จะใช้ค่าเฉลี่ยระหว่างพาหะภาพกับพาหะเสียงเป็นแผงรับเฉพาะช่องหรือบางแบบ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



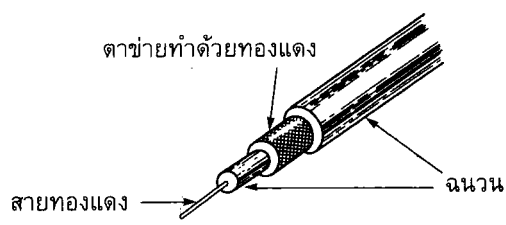
รูปที่ ข1.5 แสดงแผงรับสัญญาณโทรทัศน์แบบอัตราขยายสูง

2.4 สายนำสัญญาณ

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



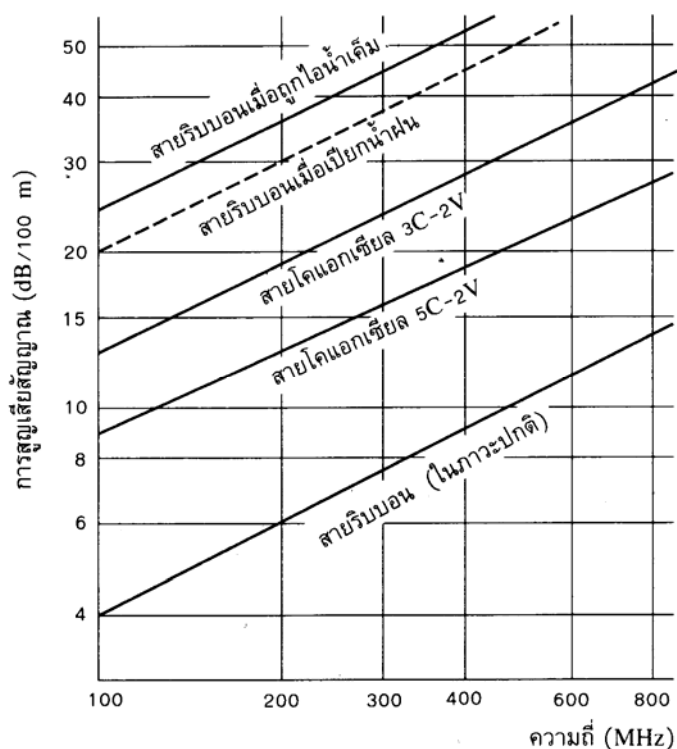
(ก) สายแบนริบบอน 300 โอห์ม



(ข) สายกลมโคแอ็กเซียล 75 โอห์ม

รูปที่ ข1.6 แสดงสายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณชนิดริบบอน มีโครงสร้างเป็นตัวยานานหุ้มด้วยฉนวนมีน้ำหนักเบา ราคาถูก ในภาวะปกติจะใช้ได้ดีมีการสูญเสียของสัญญาณต่ำ แต่มีข้อเสีย คือ พวกลักษณะของสัญญาณต่าง ๆ เข้าไปกวนได้ง่ายและในขณะฝนตกหรืออากาศเปียกชื้นจะเปลี่ยนคุณสมบัติอย่างมาก ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียสัญญาณสูง สายแบนริบบอนจึงเหมาะที่จะติดตั้งในบริเวณสถานที่ที่ไม่ค่อยมีความชื้นเกาะสายสัญญาณ จะทำให้สูญเสียภายในสายมากที่สุด



รูปที่ ข1.7 แสดงกราฟแสดงการสูญเสียสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ ของสายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณชนิดกลมโคแอกเชียล มีลักษณะโครงสร้างเป็นสายชีลด์มีทองแดงตัวนำสัญญาณอยู่ภายในคั่นด้วยฉนวน มีสายทองแดงอีกเป็นตาข่ายหุ้มเป็นชีลด์เพื่อปกป้องสัญญาณรบกวนต่างๆ แล้วหุ้มด้วยฉนวนภายนอกอีกชั้นหนึ่ง ในภาวะปกติจะมีการสูญเสียในสายมากกว่าสายริบบอน สายแบบนี้ราคาแพงกว่าแบบริบบอนและขึ้นอยู่กับขนาด เพราะต้องตลาดผลิตออกมาหลายขนาด แบบเส้นโคจะมีราคาแพงและนำสัญญาณได้ดีกว่า รวมทั้งเกิดการสูญเสียน้อย

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

สายเคเบิลโคแอกเชียลสำหรับใช้งานย่านความถี่สูง



แบบ ของสาย	เส้นผ่านศูนย์กลางของสาย (mm)				อิมพีแดนซ์ (Ω)	ความต้านทาน ต่อ 1 km ที่ 20 °C	การลดทอน (dB/km)			น้ำหนัก ประมาณ (kg/km)	สี
	ตัวนำ แกนใน	ฉนวน	ตัวนำ ด้านนอก	ความโตรวม เปลือกนอก			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



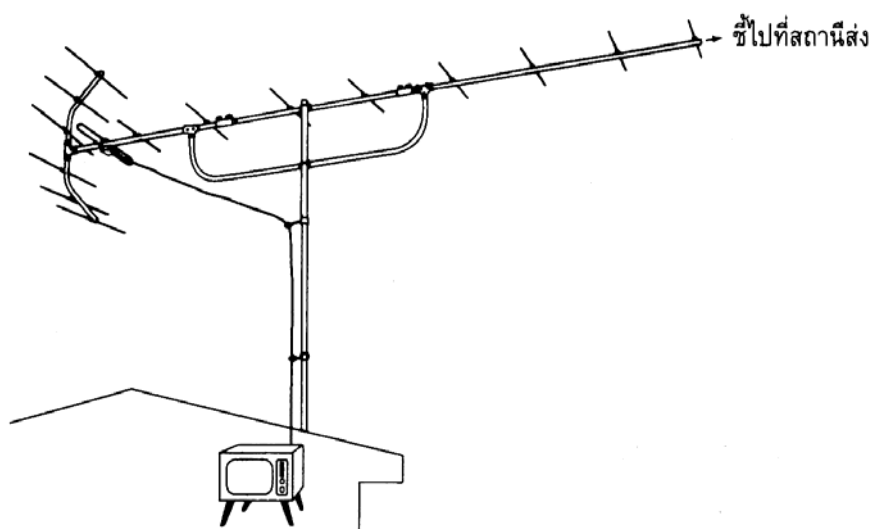
แบบ ของสาย	เส้นผ่านศูนย์กลางของสาย (mm)				อิมพีแดนซ์ (Ω)	ความต้านทาน ต่อ 1 km ที่ 20 °C	การลดทอน (dB/km)			น้ำหนัก ประมาณ (kg/km)	สี
	ตัวนำ แกนใน	ฉนวน	ตัวนำ ด้านนอก	ความโตรวม เปลือกนอก			100 MHz	200 MHz	770 MHz		
3C-FV	1/0.65	3.1	3.7	5.4	75	54.0	99	160	320	35	ดำ
5C-FV	1/1.05	5.0	5.7	7.5	75	21.1	70	112	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 แสดงคุณสมบัติเฉพาะของสายโคแอกเชียลแบบต่างๆ (NIPPON ANTENNA)

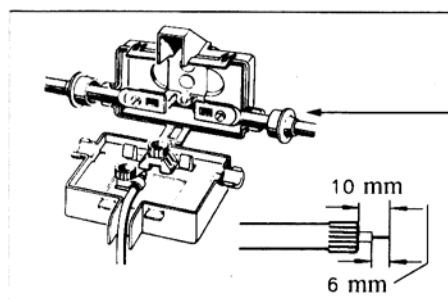
2.5 ตัวปรับอิมพีแดนซ์สายอากาศ

การเชื่อมโยงสัญญาณจากแผงรับสัญญาณโทรทัศน์ไปตามสายนำสัญญาณเพื่อเข้าถึง จูนเนอร์นั้น อุปกรณ์ทุกชิ้นควรจะต้องมีอิมพีแดนซ์เท่ากัน จึงจะทำให้การส่งสัญญาณมีประสิทธิภาพ สูงสุด กรณีที่ตัวสายอากาศไดโพล สายนำสัญญาณและจูนเนอร์เครื่องรับโทรทัศน์มีอิมพีแดนซ์ไม่ เท่ากัน จะต้องใช้ตัวปรับอิมพีแดนซ์หรือที่นิยมเรียกว่า ตัวแมทซ์ซิ่ง เป็นตัวช่วย การที่อุปกรณ์มี อิมพีแดนซ์ไม่เท่ากันก็อาจจะเรียกว่ามันไม่แมทซ์กัน ดังนั้นตัวแมทซ์ซิ่งจึงมีหน้าที่ทำให้อิมพีแดนซ์ ของอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากันได้พอดีเพื่อการส่งกำลังงานได้สูงสุด

เครื่องรับโทรทัศน์จะมีที่ต่อสายสัญญาณเข้า 75 โอห์ม หรือ 300 โอห์ม บางเครื่อง จะสามารถเลือกต่อเข้าได้ถึง 75 โอห์มและ 300 โอห์ม ดังรูปที่ ข1.9 ซึ่งแสดงแผงรับสัญญาณและ การต่อสายนำสัญญาณ

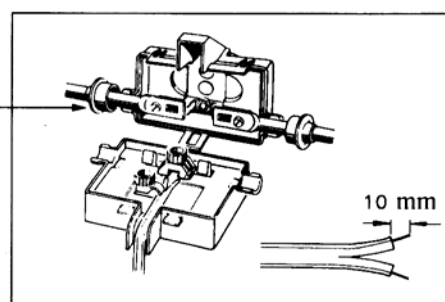


(ก) แผงรับสัญญาณช่อง 7 รุ่น Channelking ขนาด 15E



(ข) การต่อสายนำสัญญาณ 75 โอห์ม
เข้าขั้วสายอากาศ

ปิดฝา
แล้วเลื่อน
ฝายก้นน้ำ
ทั้งสองด้าน
ให้ครอบกัน
สนิท



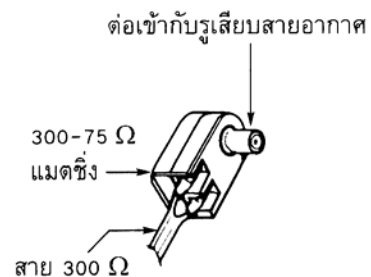
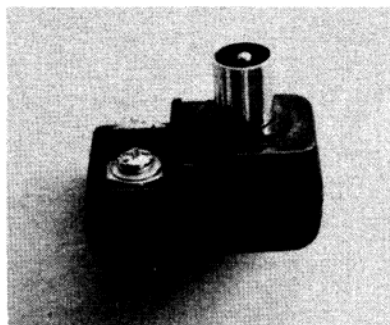
(ค) การต่อสายนำสัญญาณ 300 โอห์ม
เข้าขั้วสายอากาศ

รูปที่ ข1.9 แสดงแผงรับสัญญาณช่อง 7 และการต่อสายนำสัญญาณ (สามารถวิศวกรรม)

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

กรณีใช้สายนำสัญญาณโคแอกเซียลที่มีอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม การต่อเข้าไดโพลของแผงรับสัญญาณต้องต่อผ่านแมทซ์ซึ่ง 300-75 โอห์ม ซึ่งทำเป็นพิเศษมีฝาครอบกันน้ำอยู่ใต้จุดต่อของขั้วไดโพล ปลายสายด้านล่างที่ต่อเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ที่มีจุดต่อ 75 โอห์มก็สามารถต่อผ่าน

แก้ได้โดยตรงดังรูปที่ ข1.10



(ก) รูปร่างแมตซ์ซึ่งอยู่ร่วมกับปลั๊กสายอากาศ (ข) การต่อสายนำสัญญาณเข้าแมตซ์ซึ่ง

รูปที่ ข1.10 แสดงแมตซ์ 300 – 75 โอห์ม และการต่อสายนำสัญญาณ

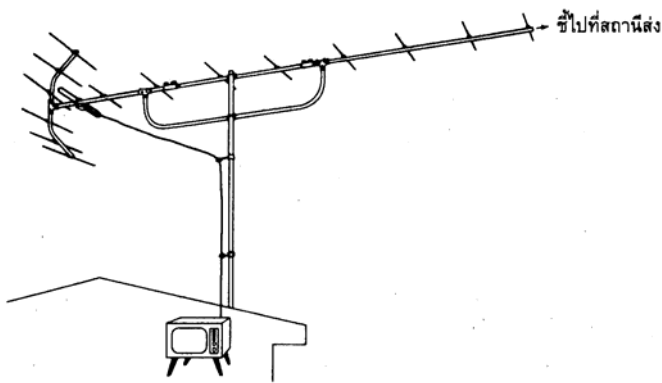
2.6 ความถี่ย่าน VHF และ UHF สำหรับวิทยุและโทรทัศน์ในปัจจุบัน

	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 ระบบสายอากาศโทรทัศน																			
เรื่อง/งาน ระบบสายอากาศโทรทัศน		จำนวนคาบ 4																		
1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม 1.1 นักศึกษาสามารถติดตั้งสายอากาศโทรทัศนได้ถูกต้องภายในเวลา 30 นาที 1.2 นักศึกษาสามารถบอกส่วนประกอบของสายอากาศโทรทัศนตามใบงานได้อย่างถูกต้อง 1.3 นักศึกษาสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และแก้ปัญหาร่วมกันได้ 2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง <table> <tr> <td>2.1 สายอากาศแบบYAGI (ย่าน UHF)</td><td>1</td><td>แผง</td></tr> <tr> <td>2.2 สายนำสัญญาณ (RG 6)</td><td>1</td><td>ชุด</td></tr> <tr> <td>2.3 เครื่องรับโทรทัศน</td><td>1</td><td>เครื่อง</td></tr> <tr> <td>2.4 เครื่องวัดความแรงของสัญญาณ (Field Strength Meter)</td><td>1</td><td>เครื่อง</td></tr> <tr> <td>2.5 ฐานตั้งเสาของสายอากาศ</td><td>1</td><td>ชุด</td></tr> <tr> <td>2.6 เชื่อมทิส</td><td>1</td><td>อัน</td></tr> </table> 3. ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน  แสดงการต่ออุปกรณ์สายอากาศโทรทัศน			2.1 สายอากาศแบบYAGI (ย่าน UHF)	1	แผง	2.2 สายนำสัญญาณ (RG 6)	1	ชุด	2.3 เครื่องรับโทรทัศน	1	เครื่อง	2.4 เครื่องวัดความแรงของสัญญาณ (Field Strength Meter)	1	เครื่อง	2.5 ฐานตั้งเสาของสายอากาศ	1	ชุด	2.6 เชื่อมทิส	1	อัน
2.1 สายอากาศแบบYAGI (ย่าน UHF)	1	แผง																		
2.2 สายนำสัญญาณ (RG 6)	1	ชุด																		
2.3 เครื่องรับโทรทัศน	1	เครื่อง																		
2.4 เครื่องวัดความแรงของสัญญาณ (Field Strength Meter)	1	เครื่อง																		
2.5 ฐานตั้งเสาของสายอากาศ	1	ชุด																		
2.6 เชื่อมทิส	1	อัน																		

3.1 สังเกตการสาธิตการติดตั้งสายอากาศโทรทัศนจากผู้สอน พร้อมทั้งจดบันทึกขั้นตอนในการติดตั้ง (5)

.....

.....

.....

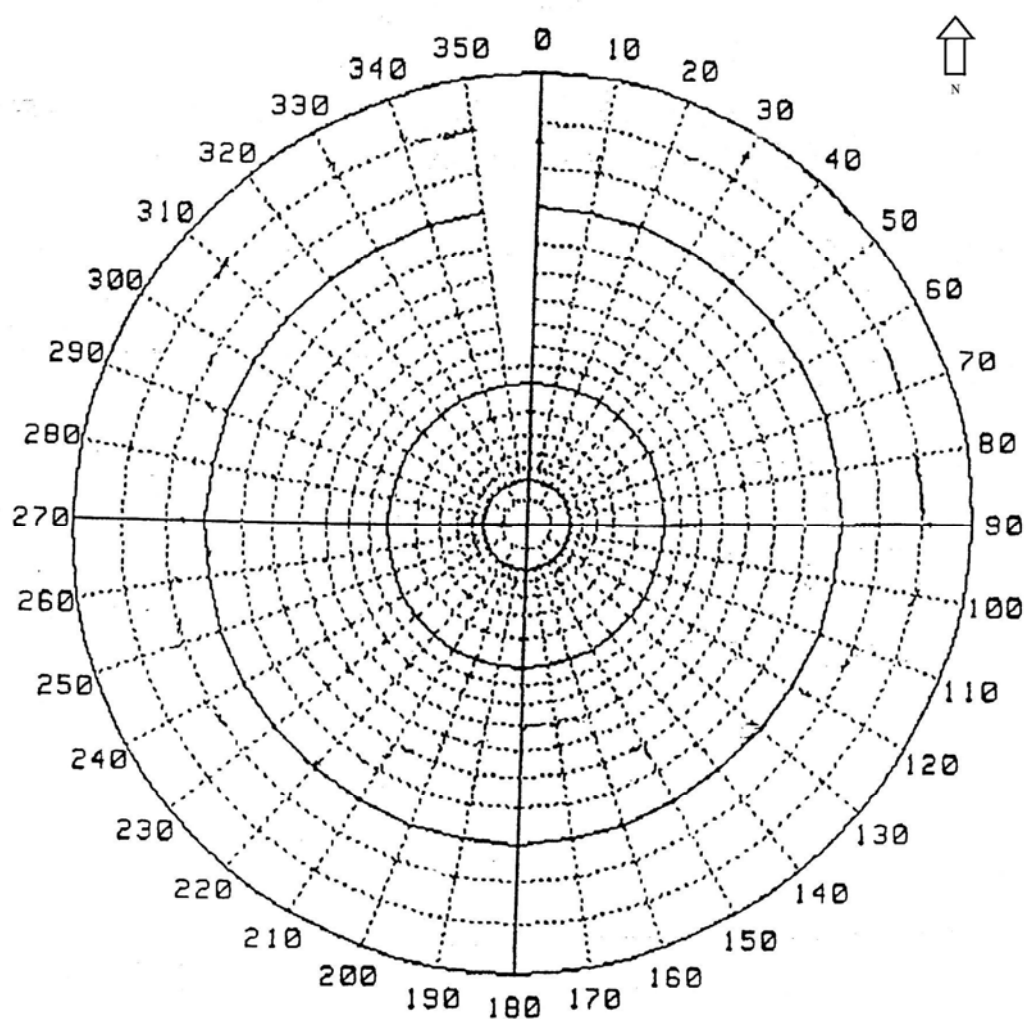
.....

.....

3.2 ต่ออุปกรณ์ตามแบบที่ได้บันทึกขั้นตอนการติดตั้ง

3.3 ปรับตำแหน่งสายอากาศให้ตรงกับสถานีส่ง ดูได้จากเครื่องรับโทรทัศนที่อยู่ในตำแหน่งที่ได้ภาพชัดมากที่สุด

3.4 นำตำแหน่งที่ได้ plot ลงกราฟ (5)



3.5 ณ ตำแหน่งที่ได้ภาพชัดที่สุดใช้ FSM. (Field Strength Meter) วัดค่าความแรงของสัญญาณได้ $\mu\text{V/m}$ 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)

[illegible]

	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 (หมวดกึ่ง) จัดว่าเป็นสายอากาศประเภทใด ก. แบบ Yagi ข. แบบ Full Wave Dipole ค. แบบ Half Wave Dipole ง. แบบ Dipole ที่ปรับความถี่รับได้ 3. สายอากาศรับโทรทัศน์ภายนอกชนิดใดมีอัตราขยายสูงสุด ก. แบบ Yagi ข. แบบ Dipole ค. แบบ Loop ง. แบบ Log Periodic		

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. แบบทวินลิตป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดี
- ข. แบบโคแอกเชียลสามารถมีอิมพีแดนซ์ 75Ω
- ค. แบบโคแอกเชียลอิมพีแดนซ์เปลี่ยนเมื่อมีความชื้น
- ง. แบบทวินลิตมีอิมพีแดนซ์ต่ำกว่าแบบโคแอกเชียล

9. ถ้าสายอากาศเป็นชนิดไดโพลปลายเปิด ข้อใดเป็นวิธีการต่อที่ถูกต้องที่สุด

- ก. สามารถนำสายชนิดทวินลิตต่อโดยตรงได้เลย
- ข. สามารถนำสายชนิดริบบอนต่อโดยตรงได้เลย
- ค. สามารถนำสายชนิดโคแอกเชียลต่อโดยตรงได้เลย
- ง. สายทั้ง 3 ชนิด ถ้าจะต่อต้องมีการต่อเมทซ์ชิ่งก่อนเพื่อให้มีอิมพีแดนซ์เท่ากัน

10. ข้อใดคือข้อเสียของสายนำสัญญาณชนิดโคแอกเชียล

- ก. ป้องกันสัญญาณรบกวนได้น้อย
- ข. มีอิมพีแดนซ์ต่ำกว่าสายแบบทวินลีด
- ค. มีผลกระทบในเรื่องของความถี่ได้มากกว่าแบบทวินลีด
- ง. ในภาวะปกติมีการสูญเสียในสายมากกว่าแบบทวินลีด

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 ความถูกต้องในการใช้เครื่องมือ ทดสอบ (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 บีมวิทท์ อัตราขยายของสายอากาศ การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ Yagi สาระการเรียนรู้ 1. คุณสมบัติพื้นฐานในการแพร่กระจายพลังงาน 2. อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบค 3. บีมวิทท์ 4. อัตราขยายของสายอากาศ 5. การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ Yagi ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง สาระที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานในการแพร่กระจายพลังงาน มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ สาระที่ 2 อัตราส่วนฟรอนด์ทูแบค มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ มาตรฐานที่ 3 ติดตั้งและทดสอบคุณสมบัติสายส่งและสายอากาศ สาระที่ 3 บีมวิทท์ มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ สาระที่ 4 อัตราขยายของสายอากาศ มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ		

สาระที่ 5 การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ Yagi

มาตรฐานที่ 3 ติดตั้งและทดสอบระบบสายส่งและสายอากาศ

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

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 ดี ชมของครู พร้อมทั้งช่วยกันแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล และช่วยกันแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อนำไปปฏิบัติให้ถูกต้องในโอกาสต่อไป
10. นักศึกษาทำแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 2 เปลี่ยนกันตรวจ โดยครูเฉลยบนกระดานเสร็จแล้วส่งผลคะแนนให้ครู

ขั้นสรุปและการประยุกต์

11. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปบทเรียน โดยเปิดโอกาสให้ซักถามถ้ามีข้อสงสัยในเรื่องใด

สื่อการเรียนรู้การสอน

1. เอกสารใบความรู้หน่วยที่ 2 เรื่องคุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน
2. ใบงานที่ 2 เรื่องคุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน

3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองตามที่ระบุในใบงานที่ 2

การวัดผลและการประเมินผล

1. วิธีวัดผล

1. ตรวจสอบแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 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 นักศึกษาสามารถอธิบายรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยาگی ได้อย่างถูกต้อง 2. เนื้อหา 2.1 คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน (RADIATION PATTERN) สายอากาศทุกแบบจะมีคุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงานไปได้มากในบางทิศทาง (เมื่อเทียบกับทิศทางรอบสายอากาศ) คุณสมบัติเช่นนี้เรียกว่า ไดเรกทิวิตี จัดว่าสำคัญมากสำหรับการส่งสัญญาณไปยังทิศทางที่ต้องการให้มีขนาดมากกว่าทิศทางที่ไม่ต้องการไดเรกทิวิตีของสายอากาศแสดงโดยใช้รูปแบบการแพร่คลื่น (RADIATION PATTERN) รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศ เป็นรูปกราฟที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศตามระยะทางที่ห่างออกไปรอบตัว และเนื่องจากการแพร่คลื่นไปทุกทิศทางรอบตัวจึงต้องกำหนดระนาบในการพิจารณารูปแบบคลื่น โดยตกลงกันให้มีใช้อยู่ 2 ระนาบ ดังแสดงในรูป ข2.1 รูปที่ ข2.1 แสดงระนาบเมอริเดียนและอีควิโตรีลของสายอากาศ		

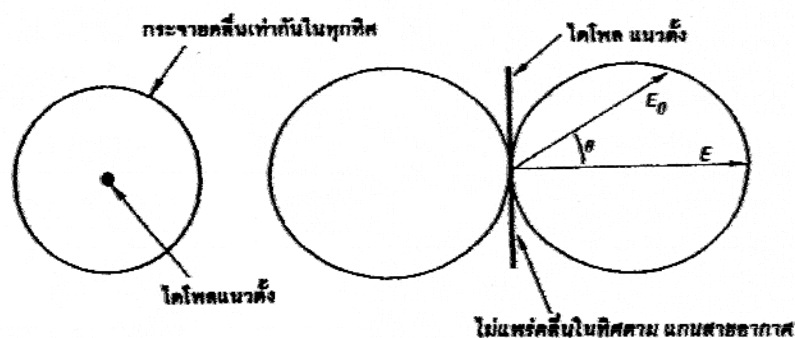
จากรูประนาบเมอริเดียน คือ ระนาบตามแนวแกน ของสายอากาศระนาบอิกเวโทเรียล คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวสายอากาศ ยกตัวอย่าง เช่น สายอากาศชนิดแนวตั้ง (VERTICAL) อธิบายได้ว่า ระนาบเมอริเดียนมีทิศตั้งฉากกับพื้นโลก และระนาบอิกเวโทเรียลมีทิศแนวนอน รูปแบบการแพร่คลื่นสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพของสายอากาศได้ดี โดยต้องเป็นในสภาพที่ติดตั้งห่างจากวัตถุต่าง ๆ เช่น ดึก, อาคาร หรือพื้นดินที่อาจทำให้เกิดคลื่นสะท้อนขึ้นและมีผลต่อรูปแบบได้

แต่ในการใช้งานจริง สายอากาศถูกติดตั้งไว้ใกล้กับวัตถุต่าง ๆ ทำให้รูปแบบการแพร่คลื่นไม่อาจระบุถึงประสิทธิภาพแท้จริงของสายอากาศได้เต็มร้อยเปอร์เซ็นต์ ถึงกระนั้นรูปแบบการแพร่คลื่นใช้ประโยชน์ในแง่การเปรียบเทียบความแตกต่างกันของสายอากาศแต่ละชนิด

สายอากาศอาจถูกใช้ในการรับคลื่นได้ และเราสามารถรู้รูปแบบการแพร่คลื่นระบุถึงความสามารถในการรับของสายอากาศได้ โดยเฉพาะคุณสมบัติไดเรกทิวิตีที่ทำให้รู้ว่าควรหันเสาหรือติดตั้งในทิศทางใดจึงได้สัญญาณที่ต้องการ

สายอากาศไดโพลชนิดแนวตั้งจะแพร่/หรือรับคลื่นได้เท่ากัน ในทุกทิศทางตามระนาบแนวนอนทำให้มีรูปแบบการแพร่คลื่นเป็นวงกลม ดังแสดงในรูป ข 2.2 (ก)

ส่วนระนาบแนวตั้งของสายอากาศชนิดนี้จะไม่แพร่/หรือรับคลื่น ตลอดตามแนวสายอากาศ ทำให้รูปแบบการแพร่คลื่นเป็นลักษณะเลขแปด ดังแสดงในรูป ข 2.2 (ข)



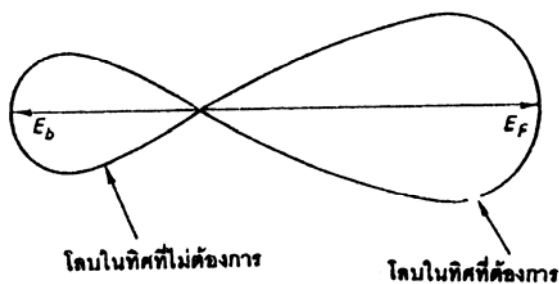
(ก) รูปแบบระนาบแนวนอน (ข) รูปแบบระนาบแนวตั้ง

รูปที่ ข 2.2 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลแบบแนวตั้ง (ขนาด $\lambda/2$)

2.2 อัตราส่วนฟรอนต์ทูแบค (FRONT TO BACK RATIO)

รูปแบบการแพร่คลื่นส่วนใหญ่แล้วจะมีไดเรกทิวิตีไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศทางอื่น ดังนั้นอัตราส่วนฟรอนต์ทูแบคของสายอากาศ คือ อัตราส่วนของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิด

จากสายอากาศโดยคิดจากทิศที่ต้องการกับทิศที่ไม่ต้องการ (ตรงกันข้าม) แสดงดังรูป ข2.3



รูปที่ ข2.3 แสดงอัตราส่วนฟรอนต์ทูแบคของสายอากาศ

ตัวอย่างการคำนวณ

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

$$\text{อัตราส่วนฟรอนต์ทูแบค} = E_f / E_b = \frac{10 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}} = 10 \quad \text{Ans.}$$

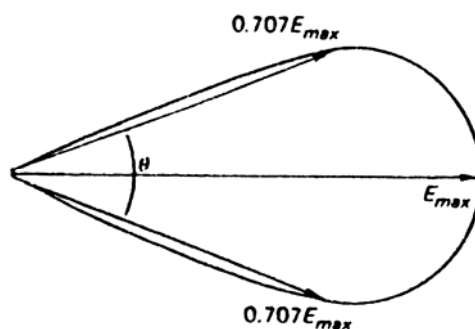
$$\text{หรือในหน่วยเดซิเบล} = 20 \text{ Log } 10 = 20 \text{ dB} \quad \text{Ans.}$$

2.3 บีมวิทท์ (BEAMWIDTH)

จัดเป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น เพื่ออธิบายถึงโคเร็คติวิตีของสายอากาศได้ดี โดยกำหนดให้มีหน่วยเป็นมุมที่คิดจากกรณีดังนี้ (มีความหมายเหมือนกันทุกกรณี)

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

แสดงค่าบีมวิทท์ (θ) จากรูป ข 2.4



รูปที่ ข2.4 แสดงบีมวิทท์ของสายอากาศ

2.4 อัตราขยายของสายอากาศ

ค่านี้ไม่ใช่ค่าอัตราส่วนระหว่างพลังงานเอาต์พุตต่อค่านินพุต แต่เป็นอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้วัดคุณสมบัติโคเรคทีวี้ 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

สายอากาศทดสอบถูกจ่ายหรือไฟด์สัญญาณขนาด 10 kW จะได้ขนาดความเข้มสนาม ณ จุดทดสอบเท่ากับที่สร้างจากสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$ ซึ่งถูกไฟด์ด้วยสัญญาณขนาด 20 kW

จงคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศทดสอบ

(a) ใช้สายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$ อ้างอิง

(b) ใช้สายอากาศไอโซทรอปิกอ้างอิง

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

คำตอบ

(a) ค่าอัตราขยายของสายอากาศทดสอบเทียบกับแบบ $\lambda/2$

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

(b) เนื่องจากอัตราขยายของไดโพลแบบ $\lambda/2$ เทียบกับไอโซทรอปิก = 2.15 dB

ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศทดสอบกับไอโซทรอปิก = $2.15 + 3 = 5.15 \text{ dB}$ (Ans.)

สำหรับสายอากาศที่ปรับปรุงแล้วให้ค่าความเข้มสนามเป็น 2 เท่าจากเดิม

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

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

ตัวอย่างการคำนวณ

ในการทดสอบสายอากาศชนิดหนึ่งที่ไม่รู้ค่าอัตราขยายกับสายอากาศมาตรฐานแบบหนึ่งที่อยู่ค่า

อัตราขยาย กำหนดให้วัดค่าพลังงานที่ถูกส่งมาถึงสายอากาศ และแม้จะได้พอดีกับโหลดได้ดังนี้

สายอากาศทดสอบวัดได้ $2 \mu\text{W}$

สายอากาศมาตรฐานวัดได้ $8 \mu\text{W}$

ถ้าอัตราขยายของสายอากาศมาตรฐานเทียบกับแบบไอโซทรอปิกมีค่า 30 dB

จงคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศที่ทดสอบนี้

คำตอบ

หาอัตราขยายของสายอากาศมาตรฐานเทียบกับสายอากาศที่ทดสอบได้

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

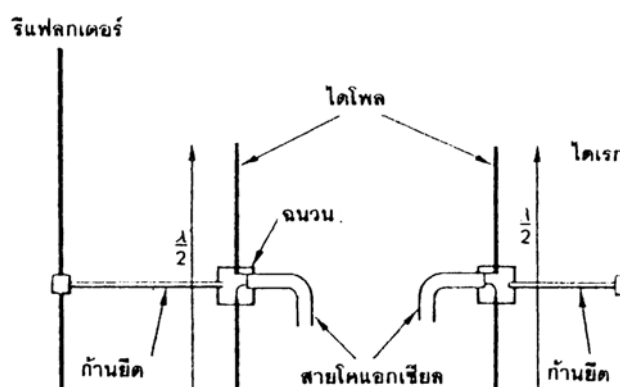
$$\text{ดังนั้นอัตราขยายของสายอากาศทดสอบเทียบกับไอโซทรอปิก} = 30 - 6 = 24 \text{ dB}$$

2.5 สายอากาศแบบยาเกิ (YAGI ANTENNA)

เราสร้างสายอากาศยาเกิจากไดโพลแบบ $\lambda/2$ และพาราซิติกอิลีเมนต์ โดยการอธิบายความหมายของพาราซิติกอิลีเมนต์คือ ส่วนของสายอากาศที่ไม่ได้ต่อโดยตรงกับสายนำสัญญาณจากเครื่องรับหรือเครื่องส่ง แต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหรือแรงดันบนตัวเองได้ และสายอากาศที่นำมาใช้งานร่วมกับตัวพาราซิติก เรียกว่า พาราซิติกอาร์เรย์

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

การเพิ่มพลังงานในไดเรกทิวิตี ทำได้โดยการใช้ไดโพลแบบ $\lambda/2$ ร่วมกับพาราซิติกอิลีเมนต์ที่เรียกว่า รีเฟลกเตอร์ ซึ่งเป็นแท่งตัวนำที่มีขนาดยาวกว่า $\lambda/2$ อยู่ประมาณ 5% โดยติดตั้งไว้ด้านหลังของสายอากาศในทิศทางตรงข้ามกับทิศที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด ดังรูป ข2.5 (a)



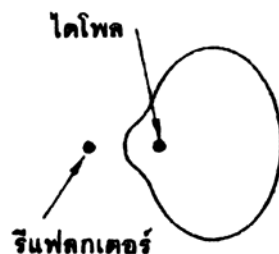
รูปที่ ข2.5 แสดงสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$ พร้อมกับ

(a) รีเฟลกเตอร์

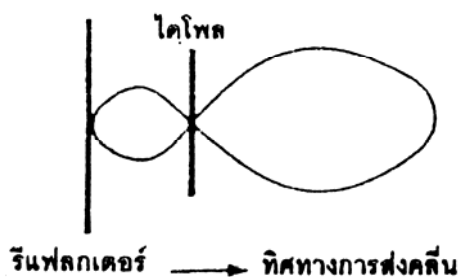
(b) ไดเรกเตอร์

รีเฟลกเตอร์มีผลต่อรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพลแบบ $\lambda/2$ เนื่องจากมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกเหนี่ยวนำที่มันมีผลให้ตัวรีเฟลกเตอร์สามารถแพร่คลื่นเองได้ด้วยแปรที่มีผลต่อรูปแบบการแพร่คลื่นมี

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 ไดเรกทิวิตีของอาร์เรย์แบบนี้ดีกว่าไดโพลอย่างเดียว เหตุที่รีเฟลกเตอร์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนี้อธิบายได้ว่าเมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้า (ที่ความถี่โซแนนซ์) และกระแสให้กับไดโพลจะมีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปทุกทิศในแนวตั้งฉากกับไดโพล พลังงานบางส่วนเดินทางมารีเฟลกเตอร์ และเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้น ซึ่งมีเฟสตามหลังแรงดันไฟฟ้าส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่โดยคิดจากระยะห่างของอีลีเมนต์ อย่างเช่น ถ้าระยะห่างเท่ากับ 0.15λ ทำให้ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่รีเฟลกเตอร์มีเฟสตามหลังส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่ 180° สิ่งนี้มีผลต่อกระแสในทำนองเดียวกัน

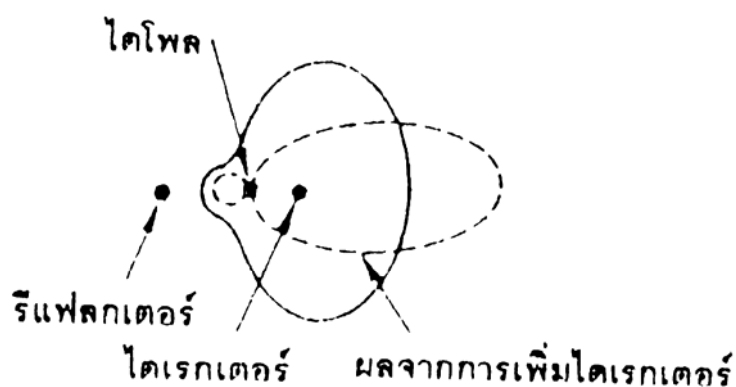
ตอนนี้รีเฟลกเตอร์ก็สามารถแพร่คลื่นได้ในทุกทิศที่ตั้งฉากกับมันเช่นกัน ถ้าความยาวของรีเฟลกเตอร์ และระยะห่างระหว่างไดโพล/รีเฟลกเตอร์ถูกพิจารณาเลือกมาอย่างเหมาะสมแล้ว พลังงานส่วนที่แพร่มาจากรีเฟลกเตอร์จะไปเสริมในส่วนของไดโพลในทิศทางที่ต้องการ ไม่เช่นนั้น ทุกอย่างตรงข้ามกันคือจะมีการหักล้างของพลังงานเกิดขึ้น

การเพิ่มค่าไดเรกทิวิตีและอัตราขยายของไดโพล สามารถทำได้อีกโดยแพร่พาราซิติคอีลีเมนต์อื่นใหม่ลงไปโดยวางตำแหน่งตรงข้ามกับรีเฟลกเตอร์ เราเรียกอีลีเมนต์ใหม่นี้ว่า ไดเรกเตอร์ ที่

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

การพิจารณาเลือกความยาวของไดเรกเตอร์ และระยะห่างระหว่างไดโพล/ไดเรกเตอร์ นับว่าสำคัญมาก เพราะถ้าเลือกค่าถูกต้อง พลังงานที่แพร่จากไดเรกเตอร์จะไปเสริมกับส่วนของไดโพลเป็นการเพิ่มค่าไดเรคตีวิตี และอัตราขยายมากขึ้น

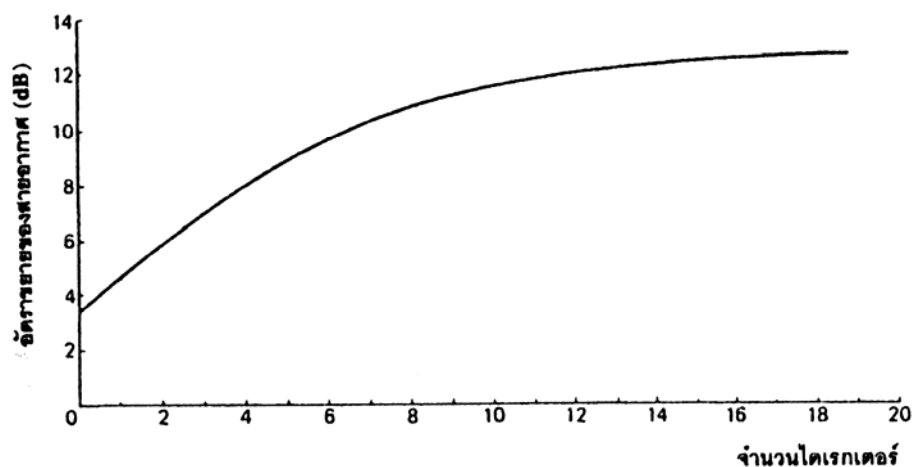
พิจารณาผลที่มีต่อรูปแบบการแพร์คลื่นของไดเรกเตอร์ไดโพลและรีเฟลกเตอร์ได้ ในรูปที่ ข2.8



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

หมายเหตุ ไดโพลจัดเป็นตัวถูกขับ หรือครีเวนอีลีเมนต์ ซึ่งหมายถึง อีลีเมนต์ส่วนที่ต่อตรงกับสายนำสัญญาณ

การเพิ่มค่าไดเรคตีวิตี หรืออัตราขยายของสายอากาศให้มากกว่านี้ ไม่อาจทำได้โดยเพิ่มรีเฟลกเตอร์ ตัวที่สองลงไป เพราะว่าสนามแม่เหล็กหลังรีเฟลกเตอร์ตัวแรกมีค่าอ่อนมากจนนำมาเหนี่ยวนำไม่ได้ แต่การเพิ่มไดเรกเตอร์ให้มากจำนวนขึ้นมีผลให้ค่าอัตราขยายของสายอากาศเพิ่มได้จริง ดังกราฟในรูป ข2.9



รูปที่ ข2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนไดโอดกับ

อัตราขยายของสายอากาศในทิศทางที่มีการแพร่มากที่สุด

ในทางปฏิบัติ การพิจารณาเลือกค่าระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ต้องคำนึงถึง 2 สิ่งคือ

1. อัตราขยายที่ต้องการของอาร์เรย์
2. อัตราส่วนฟรอนต์ทูแบคที่ต้องการ

ทั่วไปแล้วระยะห่างระหว่างไดโพล/รีเฟลคเตอร์มีค่าระหว่าง 0.15λ - 0.25λ และระยะห่างระหว่างไดโพล/ไดเรกเตอร์ มีค่าระหว่าง 0.1λ - 0.15λ

ตัวอย่างการคำนวณ

สายอากาศอาร์เรย์ประกอบด้วยไดโพลแบบ $\lambda/2$ วางในแนวตั้งพร้อมกับรีเฟลคเตอร์และไดเรกเตอร์อย่างละหนึ่งจึงคำนวณขนาดและระยะห่างกันของแต่ละอีลีเมนต์ในการใช้งานที่ความถี่ 100 MHz

คำตอบ

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

ดังนั้นความยาวของไดโพล = 1.43 m

Ans.

ส่วนรีเฟลคเตอร์ควรยาวกว่า $\lambda/2$ อยู่ประมาณ 5 % แต่มีระยะห่างจากไดโพลอยู่ 0.15λ

ดังนั้นความยาวของรีเฟลกเตอร์ = 1.57 m

Ans.

และระยะห่างระหว่างไดโพล/รีเฟลกเตอร์ = 0.6 m

Ans.

ส่วนไดเรกเตอร์ควรสั้นกว่า $\lambda/2$ อยู่ประมาณ 5 %

ดังนั้นความยาวของไดเรกเตอร์ = 1.43 m

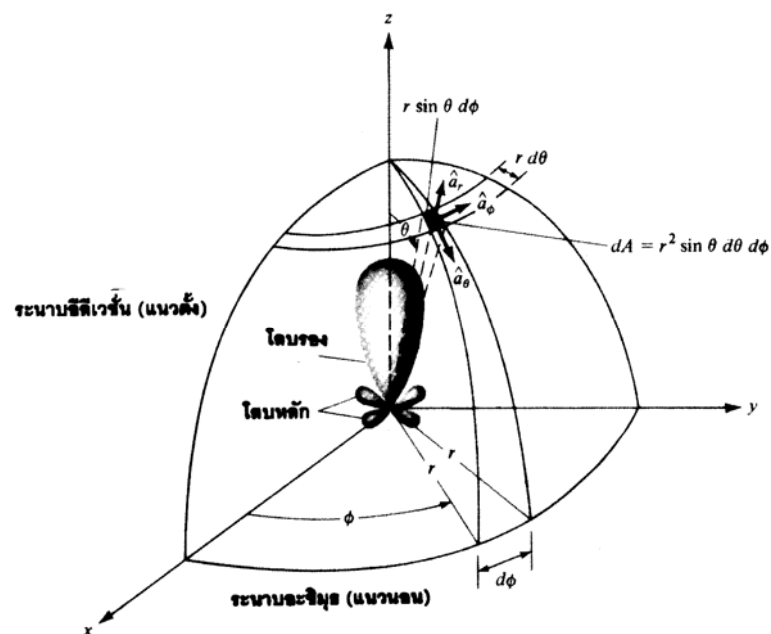
Ans.

และระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์/ไดโพล = 0.4 m

Ans.

2.6 รูปแบบการแพร่คลื่น

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

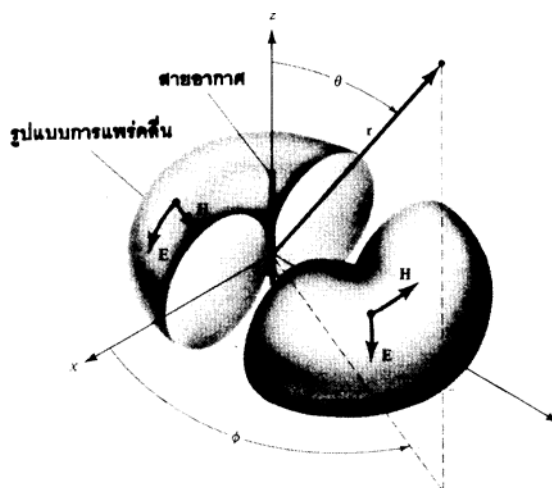


รูปที่ ข2.10 แสดงแกนโคโอดิเนตในการวิเคราะห์สายอากาศ

2.7 รูปแบบไอโซทรอปิก, ไดเรกชันแนล และออมนิไดเรกชันแนล

ไอโซทรอปิก คือสายอากาศในทางทฤษฎีที่สามารถแพร่คลื่นในทุกทิศทางด้วยความเข้มสนามเท่ากัน

ไดเรกชันแนล คือคุณสมบัติในการแพร่คลื่นหรือรับคลื่นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งได้ดีกว่าทิศทางอื่น ยกตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเรกชันแนลได้ ดังรูปที่ ข2.11

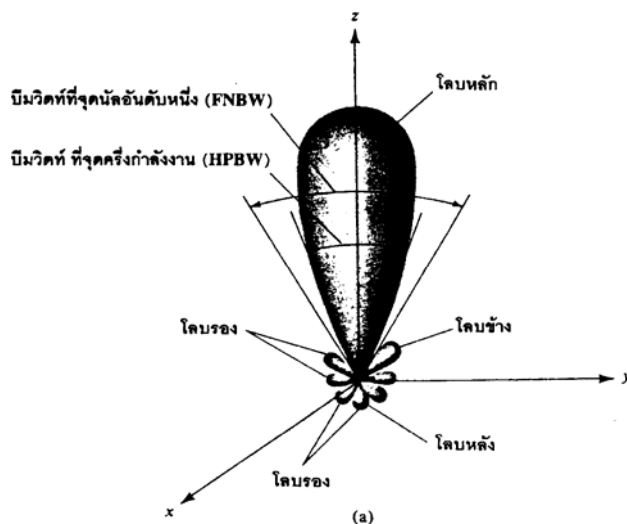


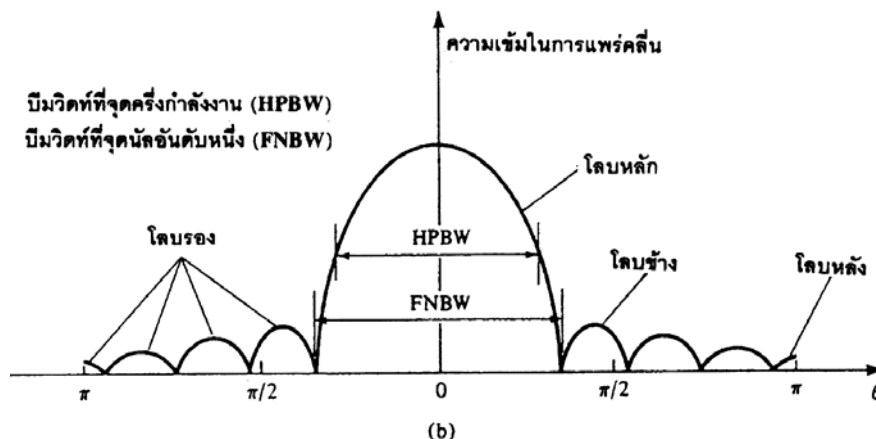
รูปที่ ข2.11 แสดงตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเรกชันแนล

จากรูปวิเคราะห์ได้ว่า ไม่มีการไดเรกชันแนลในระนาบแนวนอน $[f(\phi), \theta = \text{ค่าคงที่}]$ และมีไดเรกชันแนลในระนาบแนวตั้ง $[g(\theta), \phi = \text{ค่าคงที่}]$ เราเรียกรูปแบบการแผ่คลื่นในลักษณะนี้ว่า ออมีไดเรกชันแนล ซึ่งหมายถึง “รอบตัว” ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้ดีตามแนวราบ

2.8 ส่วนต่างๆในรูปแบบการแผ่คลื่น

แต่ละส่วนของรูปแบบการแผ่คลื่นเรียกว่า โลบ ซึ่งยังแบ่งย่อยเป็น โลบหลัก, โลบรอง, โลบข้าง และโlobหลังอีกด้วย 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) เป็นการเขียนรูปบนแกนโพลาไร 3 มิติ ที่มีโลบอยู่หลายขนาดส่วน รูปที่ ข2.12 (b) เป็นการเขียนในลักษณะแกน 2 มิติ

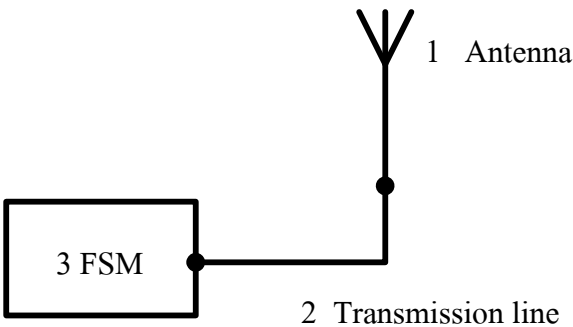
โลบหลัก (MAJOR LOBE) หรืออาจเรียกว่า บีมหลัก หมายถึง โลบที่มีการแพร่ไปในทิศทางที่มีการแพร่มากที่สุด ในรูปที่ ข2.12 โลบหลักมีทิศตามจุด $\theta = 0$ สำหรับสายอากาศบางแบบ บีมหลักมีมากกว่าหนึ่ง จะมีโลบหลักมากกว่าหนึ่งโลบได้

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

โลบข้าง (SIDE LOBE) คือ โลบที่อยู่ในทิศทางอื่น นอกเหนือไปจากทิศทางของโลบหลัก (ทัวไปแล้วโลบข้างจะอยู่ติดกับโลบหลัก และมีทิศทางรอบบีมหลัก

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

โดยทั่วไปถ้าระดับของโลบข้างมีค่าประมาณ -20 dB หรือน้อยกว่านี้จะไม่มีการรบกวนการใช้งานมากนักจุดที่รับสัญญาณได้เท่ากับศูนย์ (ถึงแม้จะรบกวนกับความถี่ในการส่ง) 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 <table> <tr> <td>2.1 สายอากาศย่าน UHF (CH29)</td><td>1</td><td>แผง (พร้อมขาตั้งเสา)</td></tr> <tr> <td>2.2 สายนำสัญญาณหมายเลข 1 (RG6) ยาว 10 เมตร</td><td>1</td><td>เส้น</td></tr> <tr> <td>2.3 เครื่องวัด Field Strength Meter</td><td>1</td><td>เครื่อง</td></tr> <tr> <td>2.4 กล่องเครื่องมือ</td><td>1</td><td>กล่อง</td></tr> </table> 3. ลำดับขั้นการปฏิบัติงาน  การประกอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 3.1 บันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงานจากการสาธิตของผู้สอน (5) 			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
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												

4. ปัญหา

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

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

4.2 จากการทดลองสายอากาศ Yagi 3E มีอัตราขยายน้อยกว่า 14E เท่ากับdB. (พร้อม
ทั้งแสดงวิธีการคำนวณ) (5)

ตอบ

[illegible]

5. สรุปผลการทดลอง (5)

[illegible]

	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. ระนาบอิกัวโทเรียลกับระนาบเมอร์เดียน ง. ระนาบ E Plan กับระนาบ H Plan 3. สายอากาศชนิดแนวตั้งมีระนาบใดเป็นแนวระนาบในการแพร่กระจายคลื่นและอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก ก. ระนาบ Vertical ข. ระนาบเมอร์เดียน ค. ระนาบ Horizontal ง. ระนาบอิกัวโทเรียล		

4. อัตราส่วน Front to Back Ratio มีค่าเท่ากับ 1 แสดงสายอากาศมีการแพร่กระจายคลื่นเป็นแบบใด
- ไม่มีการแพร่กระจายคลื่น
 - กระจายคลื่นเป็นวงกลมรอบตัว
 - มีทิศทางกระจายข้างหน้าเท่ากับข้างหลัง
 - มีได้เร็คติวิตีไปข้างหน้ามากกว่าข้างหลัง
5. ถ้าวัดความแรงของสนามได้ค่าแรงดันสูงสุดที่ 20 mV/m. และหมุนสายอากาศรับได้ค่าวัดแรงดันต่ำสุด 10 μ V/m. จะได้อัตราส่วนระหว่าง Front to Back เท่าใด
- 33 dB.
 - 44 dB.
 - 55 dB.
 - 66 dB.
6. เรานิยมใช้สายอากาศชนิดใดเป็นสายอากาศอ้างอิงในการหาอัตราขยายของสายอากาศ
- ใช้สายอากาศแบบไดโพลขนาด $\lambda/4$
 - ใช้สายอากาศแบบไดโพลขนาด $\lambda/2$
 - ใช้สายอากาศแบบไอโซทรอปิก
 - เลือกใช้ได้ทั้งข้อ ข และข้อ ค
7. สายอากาศที่สร้างขึ้นถูกจ่ายหรือไฟดสัญญาณขนาด 10 KW. จะได้ขนาดความเข้มสนาม ณ จุดทดสอบเท่ากับที่สร้างสายอากาศไดโพลมาตรฐาน ซึ่งต้องไฟดสัญญาณขนาด 40 KW. อัตราขยายของสายอากาศที่สร้างมีค่าเท่าใด
- 4 dB.
 - 5 dB.
 - 6 dB.
 - 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. ระยะห่างของครีเวนอีลีเมนต์

ค. ความยาวของ Boom

ง. เป็นไปได้ทั้งข้อ ก และข้อ ข

10. การแพร่คลื่นแบบอิมิไดเรกชันแนลคือข้อใด

ก. การแพร่กระจายคลื่นแบบวงกลมทุกทิศทุกทาง

ข. การแพร่คลื่นที่ไม่มีไดเรกชันแนลในแนวนอนแต่มีในแนวตั้ง

ค. การแพร่คลื่นที่ไม่มีไดเรกชันแนลในแนวตั้งแต่มีในแนวนอน

ง. การแพร่คลื่นในแนวรูปหลักแนวเดียวโดยไม่มีรูปข้างและรูปหลัง

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 จิตจำกัคของกำลังคลื่น การแมทช์สายนำสัญญาณ สาระการเรียนรู้ 1. กำลังประสิทธิผลของสายอากาศ 2. ความต้านทานการแพร่คลื่นและประสิทธิภาพสายอากาศ 3. ช่วงความถี่และอัตราส่วน SWR 4. การสูญเสีย 5. จิตจำกัคของกำลังคลื่น 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 จิตจำกัศของกำลังคลื่น

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

สาระที่ 6 การแมทซ์สายนำสัญญาณ

มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

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 ดี ชมของครู พร้อมทั้งช่วยกันแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล และช่วยกันแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อนำไปปฏิบัติให้ถูกต้องในโอกาสต่อไป
10. นักศึกษาทำแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 3 เปลี่ยนกันตรวจ โดยดูเฉลยบนกระดานเสร็จแล้วส่งผลคะแนนให้ครู

ขั้นสรุปและการประยุกต์

11. ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปบทเรียน โดยเปิดโอกาสให้ซักถามถ้ามีข้อสงสัยในเรื่องใด

สื่อการเรียนการสอน

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

การวัดผลและการประเมินผล

1. วิธีวัดผล

1. ตรวจสอบแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 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 นักศึกษาสามารถหาค่ากำลังส่งประสิทธิภาพของสายอากาศที่ใช้งานจริงได้อย่างถูกต้อง 1.2 นักศึกษาสามารถหาค่า SWR จากการคำนวณตามสูตรได้อย่างถูกต้อง 1.3 นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการแก้ปัญหา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศได้อย่างถูกต้อง 2. เนื้อหา 2.1 กำลังส่งประสิทธิภาพ (EFFECTIVE RADIATION POWER) ในทางทฤษฎีสายอากาศไอโซทรอปิก มีคุณสมบัติแพร่กระจายพลังงานได้ทุกทิศรอบตัวและมีขนาดความเข้มสนามเท่ากันหมดตามระยะทางรอบสายอากาศ ส่วนสายอากาศที่ใช้งานจริง ทุกชนิดจะไม่มีคุณสมบัติเช่นนี้อยู่ โดยมีการอัดคลื่นวิทยุไปในทิศใดทิศหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นสรุปได้ว่า สายอากาศที่ใช้งานจริงต้องการกำลังที่ป้อนให้สายอากาศน้อยกว่าแบบไอโซทรอปิก ในการสร้างความเข้มสนามค่าเท่ากัน ณ จุดเดียวกัน ตามทิศทางที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด กำลังประสิทธิภาพ 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 จงคำนวณหาลำลังส่งประสิทธิภาพของสายอากาศ		

10 dB คือ พลังงานในอัตราส่วน 10:1 ดังนั้น คิดจากสูตรได้ว่า

$$\text{ERP} = 10 \times 1000 = 10 \text{ กิโลวัตต์}$$

Ans.

แถบความถี่ (BANDWIDTH)

จัดเป็นช่วงความถี่ที่สายอากาศทำงานได้น่าพอใจ พิจารณาจากโลบหลัก (MAIN LOBE) ของรูปแบบการแผ่คลื่น ซึ่งคิดจากกราฟแถบความถี่ คือ ช่วงความถี่ที่ค่าพลังงานของสายอากาศที่แผ่ ออกอากาศในทิศทางโลบหลักมีค่าไม่ต่ำกว่า 3 dB

2.2 ความต้านทานการแผ่คลื่นและประสิทธิภาพสายอากาศ

กำหนดค่าพลังงานที่แผ่จากสายอากาศมีสูตร

$$P = I^2 R_r$$

R_r คือ ความต้านทานการแผ่คลื่น และถ้าคิดความต้านทาน เนื่องจากการสูญเสียความร้อน ด้วยให้แทนอักษร R_L ดังนั้นประสิทธิภาพของสายอากาศ (เขียนแทนด้วยอักษร η) คืออัตราส่วนของพลังงานที่แผ่ร่ออกอากาศต่อส่วนที่ป้อนให้สายอากาศ มีสูตรคำนวณดังนี้ (จะแสดงผลเป็น เปอร์เซ็นต์)

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

$$\frac{R_r}{R_L + R_r} \times 100\%$$

ตัวอย่างการคำนวณ

สายอากาศส่งความถี่ที่มีความต้านทานการแผ่คลื่น 0.3 โอห์ม และความต้านทานจากการสูญเสียเป็นความร้อน 1.5 โอห์ม ถ้ากระแสที่จ่ายให้สายอากาศมีขนาด 50 แอมป์ ให้คำนวณหาค่ากำลังส่งออกอากาศ, กำลังสัญญาณที่จ่ายเข้าและประสิทธิภาพของสายอากาศ

คำตอบ

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

$$\begin{aligned} \text{กำลังสัญญาณที่จ่ายเข้า} &= I^2 R_r + I^2 R_L = (50^2 \times 0.3) + (50^2 \times 1.5) \\ &= 4,500 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

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

ที่ความถี่ค่าต่ำมาก พบว่าประสิทธิภาพของสายอากาศมีค่าน้อย แต่ที่ความถี่สูงอาจมีค่าเพิ่มมากกว่า 90 % ได้

2.3 การแก้ปัญหาเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ

ความสับสนเกี่ยวกับสายนำสัญญาณกับสายอากาศ คือ ถ้ามีสายอากาศแบบเดียวกัน 2 จุด และใช้สายนำสัญญาณต่างชนิดกัน หรือใช้ชนิดเดียวกันแต่วิธีแมตช์ต่างกัน จะมีผลให้การใช้งานของสายอากาศทั้งสองนี้ต้องแตกต่างกันไป สาเหตุมาจากสายอากาศแบบเดียวกัน ถึงแม้จะใช้สายนำสัญญาณต่างชนิดก็สามารถนำมาใช้งานเดียวกันได้ เพราะว่าถ้าพิจารณาในแง่สายนำสัญญาณแล้ว พบว่าสายอากาศเป็นเพียงโหลดที่นำมาต่อเท่านั้น จุดสำคัญอยู่ที่ว่าโหลดมีคุณสมบัติเป็นความต้านทานหรือรีแอ็กแตนซ์ต่อสายนำสัญญาณ นั่นคือ สายนำสัญญาณชนิดใดๆ สามารถนำมาใช้ร่วมกับสายอากาศแบบใดก็ได้ถ้ามีวิธีแมตช์ระหว่างกันที่ถูกต้อง

2.4 ช่วงความถี่และอัตราส่วน SWR

เป็นค่าที่ใช้วัดความไม่แมตช์กันระหว่างโหลดกับสายส่งซึ่งหาได้จาก $SWR = \frac{Z_L}{Z_0}$

เงื่อนไขอย่างหนึ่งที่ใช้พิจารณาการใช้งานของสายนำสัญญาณ คือ ย่านความถี่ของสายอากาศในขณะใช้งานอยู่ จึงทำให้ผู้สร้างอาจมีตัวเลือกในการทำสายอากาศอยู่ได้ 2 วิธีคือ

1. ระบบสายอากาศที่ใช้ร่วมกับสายนำสัญญาณซึ่งมีค่า SWR ต่ำ แต่จะใช้ในย่านความถี่ได้หนึ่งค่า หรือมากกว่านี้เล็กน้อย (ย่านความถี่แคบ)
2. ระบบสายอากาศที่ใช้ร่วมกับสายนำสัญญาณซึ่งมีค่า SWR สูง แต่จะใช้ในหลายย่านความถี่ (ย่านความถี่กว้าง)

ในทางปฏิบัติวิธีต่อ (แมตช์) ระหว่างสายนำสัญญาณกับสายอากาศแบ่งได้ 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนหนึ่ง พิจารณาการใช้งานในย่านความถี่หลายย่านเป็นอันดับแรก และพิจารณาค่า SWR ที่เกิดขึ้นเป็นอันดับรอง ซึ่งโดยปกติค่า SWR จะค่อนข้างสูงและอินพุทอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณขึ้นอยู่กับความยาวสายและความถี่ใช้งาน

ขั้นตอนสอง อาจมีความจำเป็นจะต้องปรับค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้เท่ากับค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย เพื่อให้แมตช์กัน มีผลทำให้ค่า SWR ต่ำลงและอินพุทอิมพีแดนซ์เป็นความต้านทานอย่างเดียวโดยทั่วไปเราพิจารณาสายนำสัญญาณที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสเป็นเส้นตรง (FLAT) โดยดูจากค่า SWR อยู่ในช่วง 1.5 – 1

2.5 การสูญเสีย (LOSSES)

เหตุสำคัญในการแมทช์อิมพีแดนซ์ เพื่อให้ได้ระดับของคลื่นในสายเป็นเส้นตรง เพราะจะมีค่าการสูญเสียกำลังต่ำสุด โดยทั่วไปเรามักจะลดค่าการสูญเสียลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้น และค่า SWR จะมีผลเกี่ยวข้องอย่างมาก แต่ถ้านำมาพิจารณาที่ย่านความถี่ต่ำจะมีการสูญเสียน้อยถึงแม้ความยาวของสายจะเพิ่มขึ้น

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

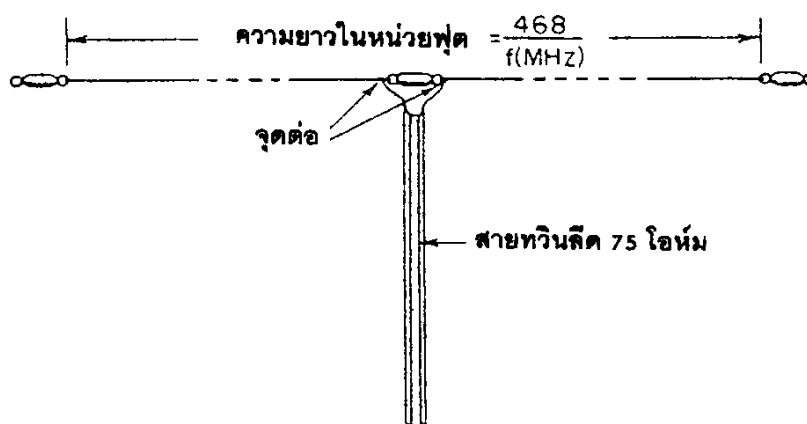
สรุปได้ว่า ที่ความถี่สูงขึ้นการแมทช์ ระหว่างสายนำสัญญาณกับสายอากาศ จะมีความสำคัญมาก

2.6 ชีตจำกัดของกำลังคลื่น

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

2.7 การแมทช์สายนำสัญญาณ

การใช้งานสายนำสัญญาณที่ค่าอัตราส่วน SWR ต้องใช้โหลดที่แมทช์กับอิมพีแดนซ์ประจำสายให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

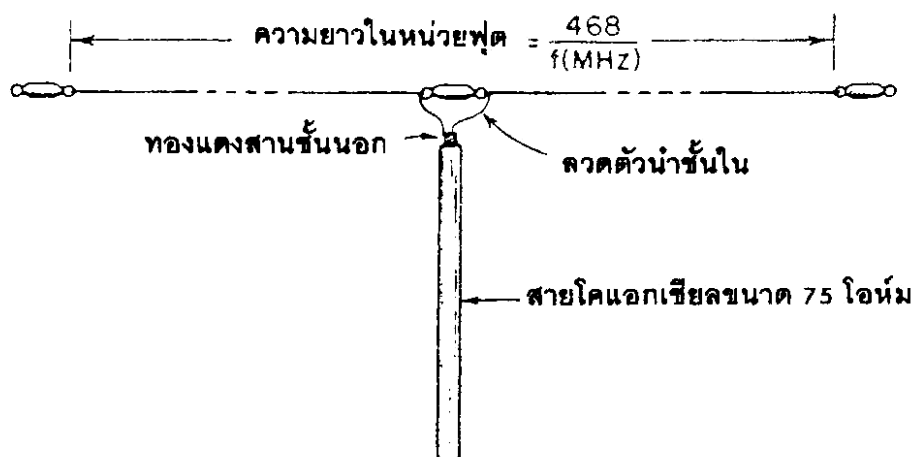


รูปที่ ข3.1 แสดงการต่อไดโพลแบบ $\frac{1}{2}\lambda$ กับสายทวินลิต 75 โอห์ม

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

2.8 กรณีใช้สายโคแอกเซียล

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



รูปที่ ข3.2 แสดงการต่อสายอากาศแบบ $\frac{1}{2}\lambda$ กับสายโคแอกเซียลขนาด 75 โอห์ม

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

ปัญหานี้มีทางแก้ไข 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. ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน

Tx

1

10 m

2

Z_L = 50 ohm

SWR

SWR

รูปที่ 1

3.1 บันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงานจากการสาธิตของผู้สอน (5)

.....

.....

.....

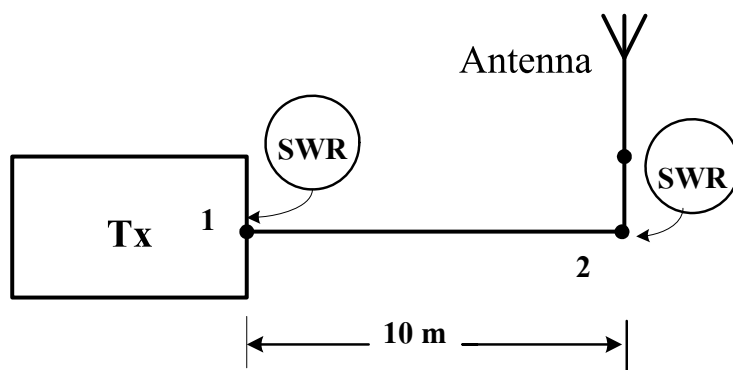
.....

.....

.....

3.2 ต่อดังรูปตามรูปที่ 1 ใช้ SWR มิเตอร์วัดค่าที่จุด 1 ได้ค่า = :1 ; Power =W

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



รูปที่ 2

3.4 ต่อดังรูปตามรูปที่ 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 1 และจุด 2 ในข้อที่ 3.4-3.5 และจากจุด 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

.....

.....

.....

.....

.....

	แบบประเมิน	หน่วยที่ 3
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 3
	ชื่อหน่วย การเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณระหว่างสายส่งสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การเพิ่มประสิทธิภาพการรับส่งสัญญาณระหว่างสายส่งและสายอากาศ		จำนวนคาบ 4
1. กำลังประสิทธิผลในสายอากาศหมายถึงอะไร ก. ค่าพลังงานสูงสุดที่สายอากาศแบบไอโซทรอปิกสามารถสร้างได้ ข. ค่าพลังงานที่มีความเข้มสูงสุดที่สายอากาศจริงสามารถสร้างได้ ค. ค่าพลังงานที่สายอากาศจริงพยายามสร้างให้มีความเข้มเท่ากับสายอากาศแบบไอโซทรอปิก ง. ค่าพลังงานที่สายอากาศแบบไอโซทรอปิกใช้สร้างความเข้มของสนามให้เท่ากับสายอากาศที่ใช้จริง 2. สายอากาศที่มีอัตราขยายเท่ากับ 10 dB (เมื่อเทียบกับไอโซทรอปิก) จะแผ่คลื่นได้ 30 วัตต์ จงหา กำลังประสิทธิผลของสายอากาศ ก. 100 วัตต์ ข. 200 วัตต์ ค. 300 วัตต์ ง. 400 วัตต์ 3. ความต้านทานการแพร่กระจายคลื่นมีความหมายตรงข้ามกับข้อความใดต่อไปนี้ ก. ถ้าความต้านทานมีค่าน้อยประสิทธิภาพจะมีค่ามาก ข. ถ้ามีค่ามากแสดงว่าสายอากาศมีการสูญเสียในรูปของความร้อนมาก ค. ถ้ามีค่ามากแสดงว่าสายอากาศมีประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่นมาก ง. ไม่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นในสายอากาศเลย		

4. ถ้าสายอากาศส่งความถี่ต่ำมีความต้านการแพร่กระจายคลื่น 1Ω และความต้านที่เกิดในสายอากาศในรูปความร้อน 2Ω 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 50Ω ไม่สามารถต่อกับสายนำสัญญาณ 300Ω 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) 75Ω อินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศเท่ากับ 300Ω 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 การแมตช์ชิงระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การใช้ Balun และ Stub Matching		จำนวนคาบ 4
หัวข้อเรื่อง ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับการแมตช์โดยตรง บาลัน การแมตช์โดยใช้สายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$ การแมตช์โดยวิธีสตัด สาระการเรียนรู้ 1. การแมตช์โดยตรง 2. บาลัน 3. การแมตช์โดยใช้สายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$ 4. การแมตช์โดยวิธีสตัด ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง สาระที่ 1 การแมตช์โดยตรง มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ สาระที่ 2 บาลัน มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ สาระที่ 3 การแมตช์โดยใช้สายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$ มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ มาตรฐานที่ 3 ติดตั้งและทดสอบคุณสมบัติสายส่งและสายอากาศ สาระที่ 4 การแมตช์โดยวิธีสตัด มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ		

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

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 ดี ชมของครู พร้อมทั้งช่วยกันแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล และช่วยกันแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อนำไปปฏิบัติให้ถูกต้องในโอกาสต่อไป
10. นักศึกษาทำแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 4 เปลี่ยนกันตรวจ โดยครูเฉลยบนกระดานเสร็จแล้วส่งผลคะแนนให้ครู

ขั้นสรุปและการประยุกต์

11. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปบทเรียน โดยเปิดโอกาสให้ซักถามถ้ามีข้อสงสัยในเรื่องใด

สื่อการเรียนรู้การสอน

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

การวัดผลและการประเมินผล

1. วิธีวัดผล

1. ตรวจสอบแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 4
2. ฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงาน

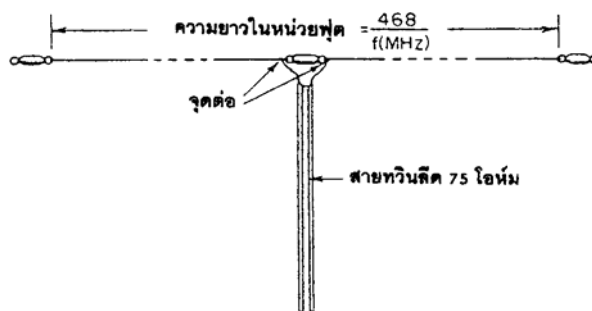
2. เครื่องมือวัดผล

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 การแมตช์ชิงระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การใช้ Balun และ Stub Matching		จำนวนคาบ 4
1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม 1.1 นักศึกษาสามารถอธิบายการทำงานของ Balun เพื่อการแมตช์ชิงสายสัญญาณได้อย่างถูกต้อง 1.2 นักศึกษาสามารถอธิบายการแมตช์สายนำสัญญาณด้วยสายนำสัญญาณยาว $\frac{\lambda}{4}$ ได้อย่างถูกต้อง 1.3 นักศึกษาสามารถอธิบายการแมตช์สายนำสัญญาณด้วยวิธี Stub ได้อย่างถูกต้อง 2. เนื้อหา 2.1 การแมตช์โดยตรง การรีโซแนนซ์สายอากาศจุดที่ควรให้ความสนใจในการแมตช์สายอากาศ กับสายนำสัญญาณ คือ อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อต้องเป็นความต้านทานอย่างเดียวกัน นั่นหมายความว่า ระบบสายอากาศจะรีโซแนนซ์ที่ความถี่ในกรณีสายแมตช์แล้ว จากที่ได้กล่าวมาในหน่วยต้นๆ ว่าค่าอิมพีแดนซ์ที่จุดกึ่งกลางของสายอากาศรีโซแนนซ์ ขนาด $\frac{1}{2} \lambda$ ที่ความสูง $\frac{1}{4} \lambda$ หรือมากกว่านี้ (จำนวนเท่า) มีค่าเป็นความต้านทานอย่างเดียวกันและมีค่าประมาณ 70 โอห์ม เราสามารถนำสายนำสัญญาณแบบทวินลิต ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายเท่ากับ 75 โอห์ม ก็สามารถใช้งานได้ ถึงแม้จะเกิดค่า SWR ขนาดต่ำ สำหรับหลักการเกี่ยวข้องกับค่า SWR กับสายนำสัญญาณแบบโคแอกเชียล เหมือนกับแบบทวินลิต แต่ส่วนที่แตกต่างกันระหว่างทั้งสองกรณี คือ สายแบบทวินลิตเป็นสายที่มีความสมดุลทางไฟฟ้าอยู่ ส่วนสายโคแอกเชียลไม่สมดุลทางไฟฟ้า กล่าวอย่างละเอียด คือ ในกรณีต่อกับสายโคแอกเชียลด้านนอกของตัวนำชั้นนอกไม่ได้ต่อกับสายอากาศผิวด้านนอกกับตัวนำชั้นใน และด้านในของตัวนำชั้นนอกที่ต่อโดยตรงอยู่มีผลลัพธ์กระแสบางส่วนไหลบนด้านนอกนี้ เป็นการสูญเสียอย่างหนึ่ง ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของสายนำสัญญาณมีขนาดเล็กมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของสายอากาศ และใช้ย่านความถี่วิทยุสมัครเล่นช่วงความถี่ต่ำแล้ว ผลจากความไม่สมดุลทางไฟฟ้านี้สามารถละทิ้งไม่คิดได้ เพราะมีขนาดน้อยมาก แต่ในย่านความถี่ VHF และ UHF จะมีผลอย่างมาก		

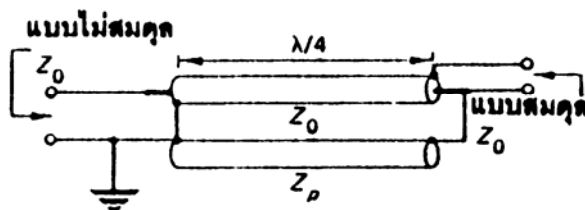


รูปที่ ข4.1 แสดงการต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศโดยตรง

2.2 บาลัน (BALUN)

ในย่านความถี่สูง วิธีต่อโดยตรงระหว่างสายที่มีความสมดุล (ทางไฟฟ้า) กับสายที่ไม่มีความสมดุล มีผลทำให้เกิดสูญเสียพลังงานที่แพร่ออกมา หรือเกิดการแทรกจากสัญญาณรบกวนภายนอก ได้บาลันจัดเป็นวงจรที่ใช้เชื่อมต่อสายแบบสมดุลกับแบบไม่สมดุล โดยไม่มีผลกระทบใดๆ

สำหรับย่านความถี่คลื่นวิทยุ ถ้าใช้กำลังไฟฟ้าจนถึง 5 kW หรือความถี่จนถึง 30 MHz จะใช้บาลันได้ พิจารณารูป



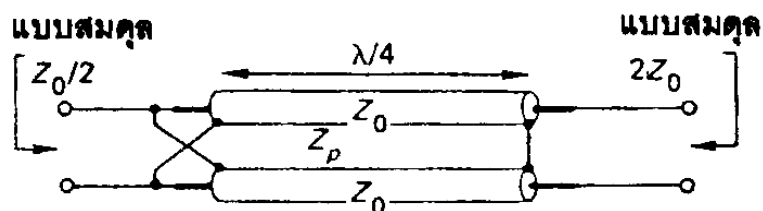
รูปที่ ข4.2 แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 1 : 1

จากรูปปลายบาลันด้านแบบไม่สมดุล ตัวนำชั้นนอกของโคแอกเซียลต่อตรงกับตัวนำแท่งกลม (ตัวล่าง) ซึ่งตัวนำล่างนี้มีค่าอิมพีแดนซ์ประจำตัวนำเท่ากับ Z_0 ทั้งสองมีความยาวขนาด $\frac{1}{4} \lambda$ ดังนั้น ถ้าพิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ที่มองเข้ามาทางขวามือของบาลันมีค่าเท่ากับ Z_0^2 / ϕ หรือเป็นวงจรเปิดนั่นเอง

ส่วนปลายบาลันด้านสมดุล ตัวนำเส้นหนึ่งต่อกับชั้นนอกของโคแอกเซียลและอีกเส้นต่อกับ

ชั้นในของโคแอกเซียลรวมถึงตัวนำแท่งกลมด้วย (ไม่มีการต่อกราวด์ในด้านนี้)

โดยทั่วไป สายแบบไม่สมดุลมีค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายในช่วง 50 – 75 โอห์ม ในขณะที่สายแบบสมดุล(ทวินลิต) มีค่าเป็นร้อยโอห์ม จึงมีความจำเป็นที่ต้องปรับขนาดอิมพีแดนซ์ของสายให้เข้ากันได้



รูปที่ ข4.3 แสดงบาลันแบบอัตรส่วนอิมพีแดนซ์ 4 : 1

จากรูปเราใช้สายโคแอกเซียล 2 เส้น โดยด้านซ้ายมือมีการต่อตัวนำกับด้านนอกของสายโคแอกเซียลในลักษณะขนานกัน และด้านขวามือมีการต่อตัวนำกับด้านนอกของสายโคแอกเซียลในลักษณะอนุกรมกัน ถ้าค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายของแต่ละเส้นมีค่าเท่ากัน คือ Z_0 โอห์ม จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่คร่อมจุดต่อด้านขวามือเท่ากับ $2Z_0$ โอห์ม และค่าอิมพีแดนซ์ที่คร่อมจุดต่อด้านซ้ายมือ เท่ากับ $Z_0/2$ โอห์ม ตัวอย่างเช่น ขนาด 300 โอห์ม สามารถปรับให้เหลือ 75 โอห์มได้

2.3 การแมทช์โดยใช้สายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$

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

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

โดย Z_{in} แทนค่าอิมพีแดนซ์ด้านอินพุตของสายนำสัญญาณ

Z_0 แทนค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย

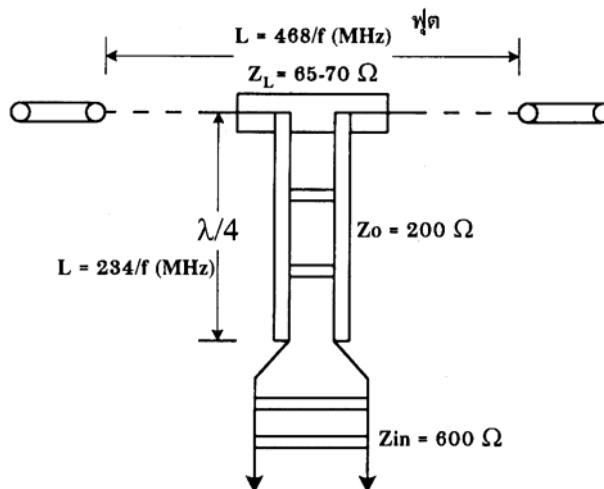
Z_L แทนค่าอิมพีแดนซ์ของโหลดที่ปลายสาย

หรือเขียนได้ในรูปสมการว่า

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

การประยุกต์ใช้งานที่เห็นได้ทั่วไปของสายยาว $\lambda/4$ นี้คือ การแมทช์สายนำสัญญาณกับ

โหลดที่มีค่าไม่เท่ากับ Z_0 พิจารณาตัวอย่างในรูป ข4.4

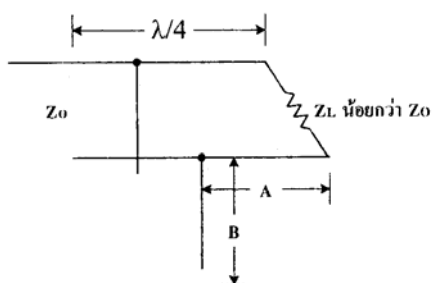


รูปที่ ข4.4 แสดงตัวอย่างการใช้สายยาว $\lambda/4$

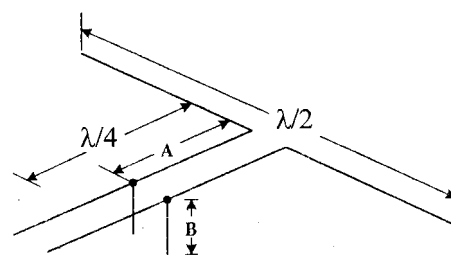
จากรูปถ้าเราต่อเข้าหากันโดยตรงกับโหลด จะเกิดการสะท้อนกลับของคลื่นขึ้น และเกิดค่า SWR ในสาย ดังนั้นจึงแก้ไขโดยปรับค่าโหลดให้เท่ากับ 600 โอห์มก่อน โดยใช้สายยาว $\lambda/4$ ต่อเชื่อมเหมือนในรูปนั่นคือ ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของส่วน $\lambda/4$ เท่ากับ 600 โอห์มด้วย จึงคำนวณหาค่า Z_0 ได้เท่ากับ $\sqrt{600 \times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

2.4 การแมทช์โดยวิธีสตัป

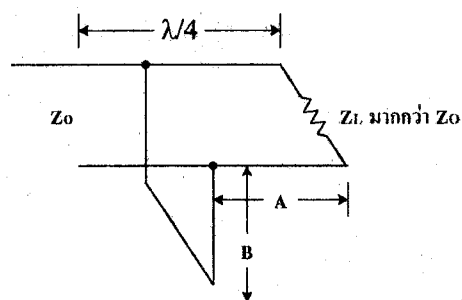
มีการแมทช์สายอีกวิธี เรียกว่า สตัป ลองพิจารณาจากรูป



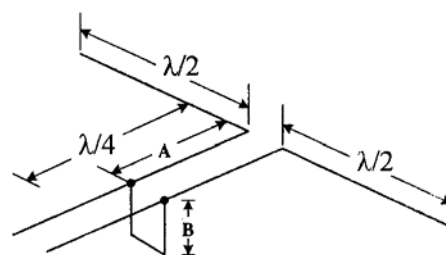
(ก) แบบเปิด



(ข) แบบเปิด



(ค) แบบปิด

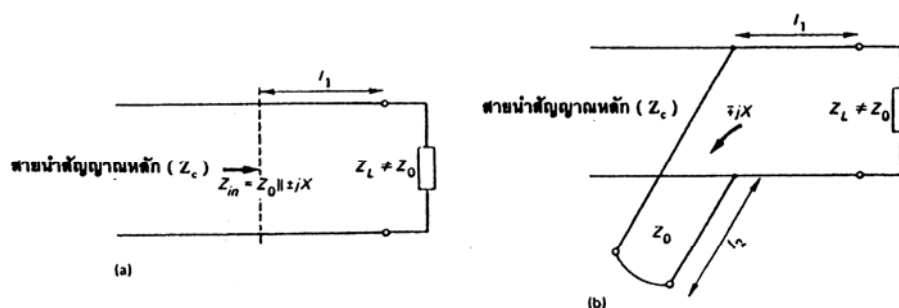


(ง) แบบเปิด

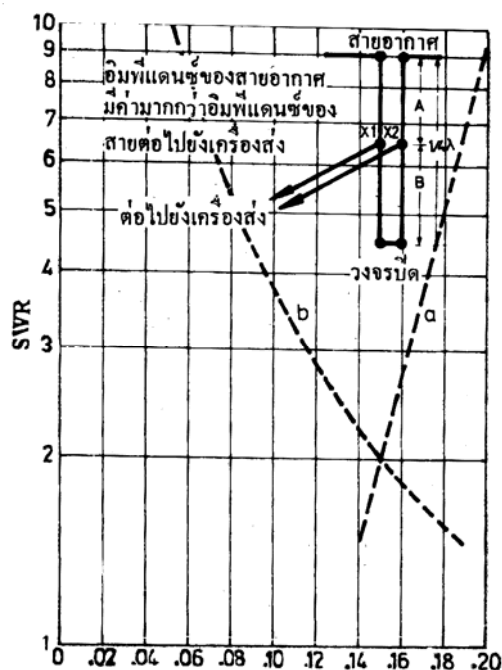
รูปที่ ข4.5 แสดงการต่อสลับเบื้องต้นของสายอากาศ

พิจารณาสายขนาด $\lambda/4$ พบว่าปลายด้านซ้ายมือลัดวงจรอยู่ และปลายด้านขวามือต่อกับโหลดขนาด Z_L ค่าอิมพีแดนซ์บนสาย $\lambda/4$ จะเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างจากโหลด ซึ่งมีค่าตั้งแต่ Z_L ถึงศูนย์และ ∞ จุดหนึ่งจะมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำสายของสายนำสัญญาณหลัก ถ้ามีการต่อสายนำสัญญาณเข้าที่ ∞ จุดนี้ ถือว่าการแมตช์เกิดขึ้น พอมองเห็นได้ว่า สายสลับ คือ ส่วนความยาวของสายด้านที่ลัดวงจรและค่าความยาวนี้มีผลต่ออินพุทรีแอ็กแดนซ์ด้วย โดยถ้าความยาวทางไฟฟ้าของสลับน้อยกว่าขนาด $\lambda/4$ ทำให้อินพุทรีแอ็กแดนซ์เป็นค่าความเหนี่ยวนำ (INDUCTIVE) หรือความยาวทางไฟฟ้าของสลับมากกว่าขนาด $\lambda/4$ ทำให้อินพุทรีแอ็กแดนซ์เป็นค่าประจุไฟฟ้า (CAPACITIVE)

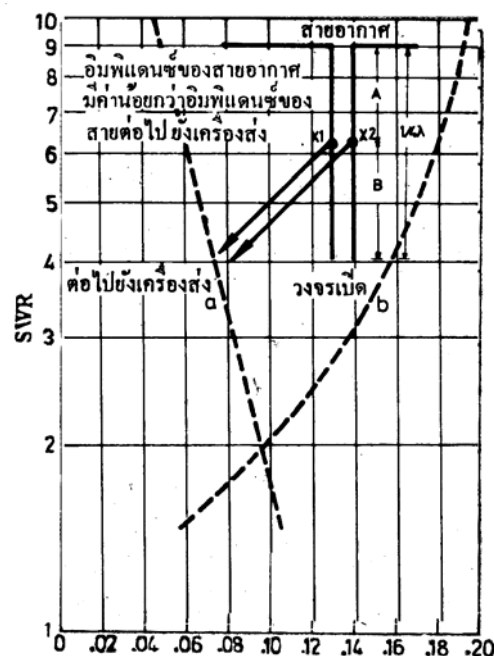
ค่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ไม่แมตช์กัน จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างจากโหลดบางกรณีค่าอิมพีแดนซ์อาจมากกว่าค่า Z_0 ของสายหรือน้อยกว่าก็เป็นได้สมมุติให้ที่ระยะห่าง l_1 จากโหลด (Z_L) ค่าอิมพีแดนซ์ ณ จุดนั้นมีค่าผลรวมระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ประจำสาย (Z_0) ขนานกับบางส่วนของรีแอ็กแดนซ์ ($\pm jx$) ดังแสดงในรูป ข4.6 (a)

(a) แสดงค่าอิมพีแดนซ์ที่ระยะห่าง l_1 จากโหลด(b) ใช้สลับขนาดยาว l_2

จากรูป ข4.6 (b) มีการต่อสลับคร่อม ณ จุด 1_1 โดยความยาวของสลับเท่ากับ 1_2 ซึ่งมีค่าอินพุทรีแอ็กแดนซ์ขนาดเท่ากัน แต่เครื่องหมายตรงข้ามกัน ($\pm jx$) ซึ่งจะเกิดหักล้างค่ารีแอ็กแดนซ์ทั้งสองหมดเป็นศูนย์ เหลือเฉพาะค่า Z_0 เท่านั้น จึงเกิดการแมทซ์ขึ้น



รูปที่ ข4.7 แสดงการหาความยาวสลับไปยังเครื่อง
ส่งวงจรปิด



รูปที่ ข4.8 แสดงการหาความยาวสลับไปยังเครื่อง
ส่งวงจรเปิด

วิธีการใช้กราฟ

1. หาค่า SWR ของสายด้วยวิธีการคำนวณการไม่แมทซ์ของสาย ซึ่งอาจจะหาจากวิธีการวัดด้วย Two way Wattmeter หรือ SWR มิเตอร์ก็ได้
2. ถ้าหากว่าโหลดมีค่าความต้านทานสูงกว่าอิมพีแดนซ์ของสายที่ใช้สลับ จะใช้สลับชนิดลัดวงจรดังแสดงในกราฟรูปที่ ข4.7
3. ถ้าหากว่าโหลดมีค่าความต้านทานน้อยกว่าค่าความต้านทานของสายที่ใช้สลับให้ใช้กราฟในรูปที่ ข4.8
4. จากค่า SWR ที่รู้ค่าให้เลือกค่า A บนกราฟ
5. จากค่า SWR คำนวณหาค่าความยาว B จากกราฟ
6. คำนวณหาค่า A เป็นฟุตได้จากสูตร

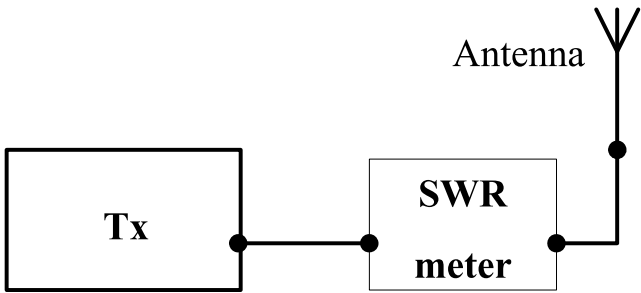
$$A = \frac{984 \times V_C \times a}{f}$$

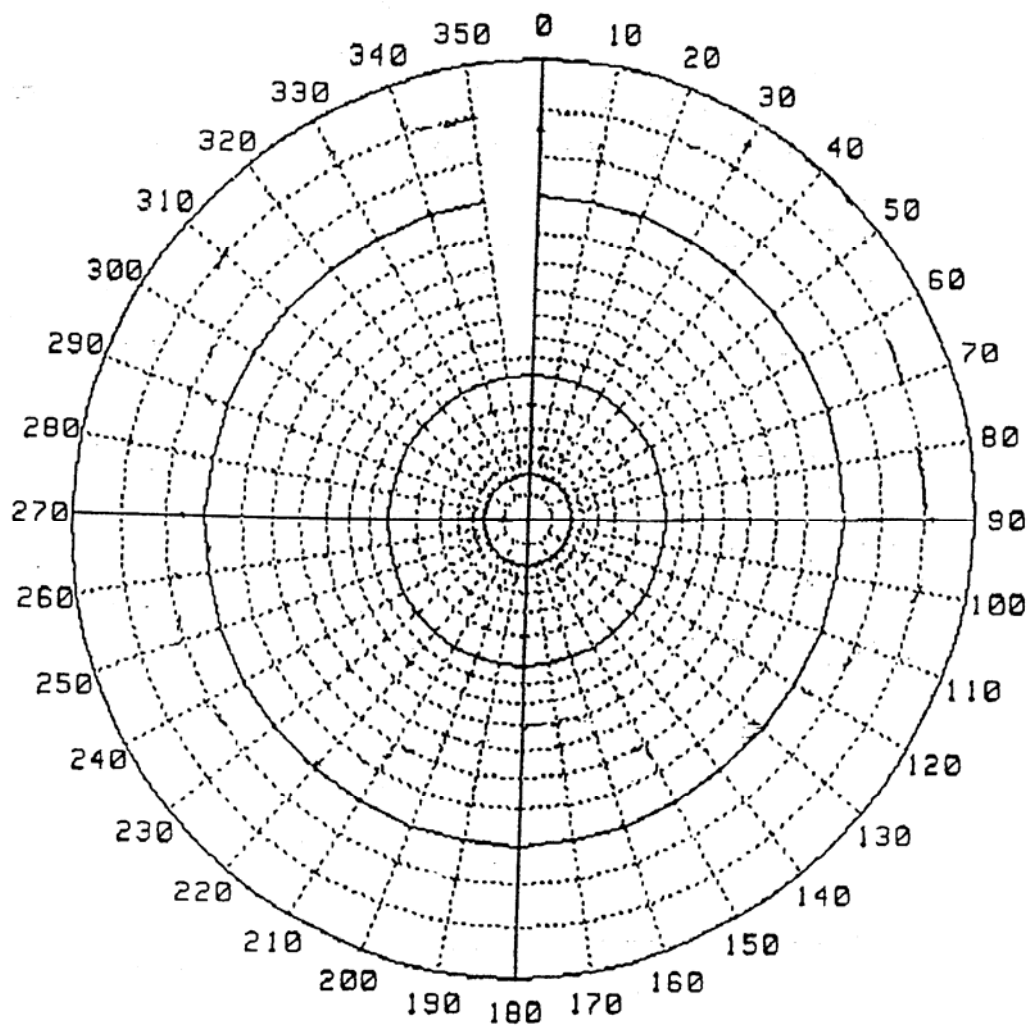
เมื่อ f มีหน่วยเป็น (MHz)

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 การแมทชิงระบบสายอากาศ																
เรื่อง/งาน การใช้ Stub Matching		จำนวนคาบ 4															
1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม 1.1 นักศึกษาสามารถต่อสาย Stub ทั้งแบบปลายปิดและปลายเปิดได้อย่างถูกต้องตามเวลาที่กำหนด (30 นาที) 1.2 นักศึกษาสามารถอธิบายการทำงานของ Stub ที่ใช้ในการแมทชิงสัญญาณได้ถูกต้อง 1.3 นักศึกษาสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และแก้ปัญหาร่วมกันได้ 2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน <table> <tr> <td>2.1 เครื่องส่งวิทยุความถี่ย่าน VHF</td><td>1</td><td>เครื่อง</td></tr> <tr> <td>2.2 SWR มิเตอร์</td><td>1</td><td>เครื่อง</td></tr> <tr> <td>2.3 สายนำสัญญาณ RG58 A/U</td><td>1</td><td>เส้น</td></tr> <tr> <td>2.4 สายอากาศแบบ Yagi ย่าน VHF</td><td>1</td><td>แผง (พร้อมขาตั้ง)</td></tr> <tr> <td>2.5 สาย Stub แบบปลายปิดและปลายเปิด อย่างละ</td><td>1</td><td>เส้น</td></tr> </table> 3. ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน 			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
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															



4. ปัญหา

4.1 ทำไม Stub จึงช่วยทำให้ค่า SWR ในสายส่งลดลงได้ (5)

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4.2 ระยะ A และระยะ B หาได้จากอะไร (5)

ตอบ

[illegible]

5. สรุปผลการทดลอง (5)

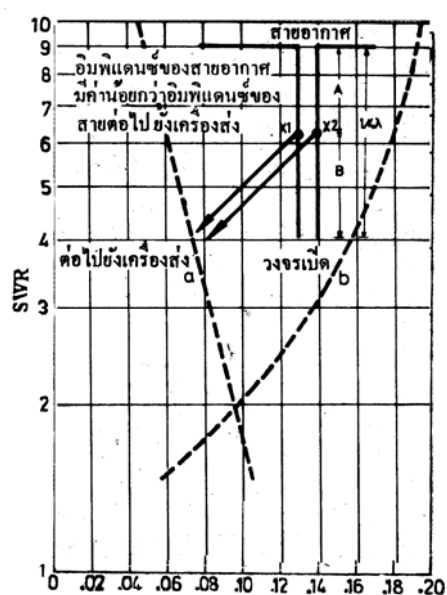
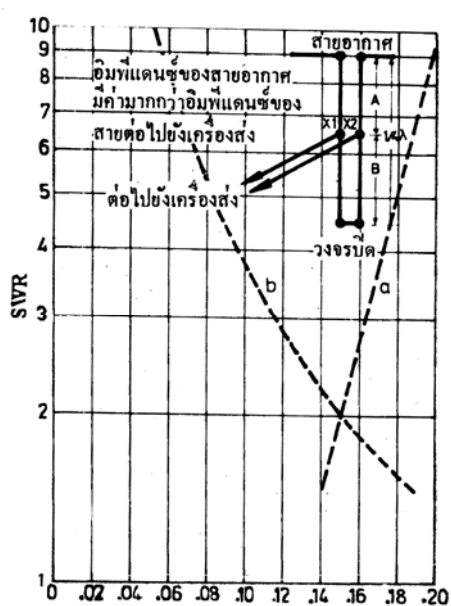
[illegible]

	แบบประเมิน	หน่วยที่ 4
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 4
	ชื่อหน่วย การแมตช์ระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การใช้ Balun และ Stub Matching		จำนวนคาบ 4
1. จุดประสงค์หลักของการแมตช์สายอากาศกับสายนำสัญญาณคือข้อใด ก. ให้ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งมีค่าเท่ากับสายอากาศ ข. อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อเป็นค่า $R - jX_c$ ค. ให้สายอากาศอยู่ในสถานะที่เป็นรีโซแนนซ์ที่ใช้งาน ง. อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อเป็นค่า $R + jX_L$ 2. การนำสายสัญญาณแบบบาลันต่อกับสายนำสัญญาณแบบไม่บาลันโดยตรงจะเกิดปัญหาตามข้อใด ก. การสะท้อนกลับของสัญญาณ ข. การลดทอนระหว่างรอยต่อของสายนำสัญญาณ ค. การแทรกของสัญญาณรบกวนจากภายนอก ง. การผิดเพี้ยนของสัญญาณ 3. การทำบาลันแบบครึ่งคลื่นชนิด 4:1 ให้สายอากาศชนิดโพลเดคไดโพลใช้สายนำสัญญาณชนิดใด ก. สายทวินลีด $300\ \Omega$ ข. สายริบบอน $300\ \Omega$ ค. สายโคแอกเชียล $75\ \Omega$ ง. สายโคแอกเชียล $50\ \Omega$		

4. ถ้าสายอากาศมีค่าอิมพีแดนซ์ 300Ω สายนำสัญญาณมีอิมพีแดนซ์ 75Ω ต้องนำบาลูนที่มีค่าอิมพีแดนซ์เท่าใดมาต่อ
- 50Ω
 - 75Ω
 - 150Ω
 - 300Ω
5. จากข้อ 4 ถ้าต้องการส่งคลื่นความถี่ 150 MHz ต้องใช้บาลูนมีความยาวเท่าใด
- 1.16 ฟุต
 - 2.16 ฟุต
 - 3.12 ฟุต
 - 4.12 ฟุต
6. ข้อเสียของการแมทช์ด้วยสายนำสัญญาณยาว $\frac{\lambda}{4}$ คือข้อใด
- ตอบสนองความถี่ได้ในช่วงแคบๆ เท่านั้น
 - มีความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา
 - ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนตามความถี่ที่ใช้
 - ใช้กับความถี่ได้ไม่เกิน 30 MHz
7. เราใช้เกณฑ์ตามข้อใดในการเลือกใช้สลับแบบปลายเปิดและแบบปลายปิด
- ถ้า Z_L มีค่ามากกว่า Z_0 ใช้สลับแบบปลายปิด
 - ถ้า Z_L มีค่าน้อยกว่า Z_0 ใช้สลับแบบปลายเปิด
 - ถ้า Z_0 มีค่ามากกว่า Z_L ใช้สลับแบบปลายปิด
 - ถ้า Z_L มีค่าเท่ากับ Z_0 ใช้สลับแบบใดก็ได้

8. ในการใช้สลับแบบปลายปิด ถ้าสายสลับยาวกว่า $\frac{\lambda}{4}$ อินพุทอิมพีแดนซ์จะมีสถานะเป็นเช่นใด

- ก. เป็น C
- ข. เป็น L
- ค. รีโซแนนซ์ LC ขนาน
- ง. รีโซแนนซ์ LC อนุกรม



9. จากกราฟ โหลดมีอิมพีแดนซ์ 300Ω สายสลับมีอิมพีแดนซ์ 75Ω เมื่อนำไปทดสอบด้วย SWR มิเตอร์ มีค่าเท่ากับ 4 ระยะ A มีความยาวเท่าใด ($f = 150 \text{ MHz}, 0.66$)

- 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 การแมทซ์ระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การแมทซ์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณ		จำนวนคาบ 4
หัวข้อเรื่อง ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับวิธีแมทซ์รูปตัวที วิธีแมทซ์แบบแกมม่า วิธีแมทซ์แบบโอเมก้า หลักการเบื้องต้นของการ Stack สายอากาศ จัดทำสาย Phasing Line เพื่อ Stacking สายอากาศ หา Pattern ของสายอากาศที่ทำการ Stacking สาระการเรียนรู้ 1. วิธีแมทซ์รูปตัวที 2. วิธีแมทซ์แบบแกมม่า 3. วิธีแมทซ์แบบโอเมก้า 4. จัดทำสาย Phasing Line เพื่อ Stacking สายอากาศ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง สาระที่ 1 วิธีแมทซ์รูปตัวที มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ สาระที่ 2 วิธีแมทซ์แบบแกมม่า มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ สาระที่ 3 วิธีแมทซ์แบบโอเมก้า 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

กิจกรรมการเรียนรู้การสอน

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 ดี ชมของครู พร้อมทั้งช่วยกันแสดงความคิดเห็นอย่างมีเหตุผล และช่วยกันแก้ไขข้อบกพร่องเพื่อนำไปปฏิบัติให้ถูกต้องในโอกาสต่อไป
10. นักศึกษาทำแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 5 เปลี่ยนกันตรวจ โดยครูเฉลยบนกระดานเสร็จแล้วส่งผลคะแนนให้ครู

ขั้นสรุปและการประยุกต์

11. ครูและนักศึกษาร่วมกันสรุปบทเรียน โดยเปิดโอกาสให้ซักถามถ้ามีข้อสงสัยในเรื่องใด

สื่อการเรียนรู้การสอน

1. เอกสารใบความรู้หน่วยที่ 5 เรื่องการแมทช์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณ
2. ใบงานที่ 5 เรื่องการแมทช์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณ

3. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองตามที่ระบุในใบงานที่ 5

การวัดผลและการประเมินผล

1. วิธีวัดผล

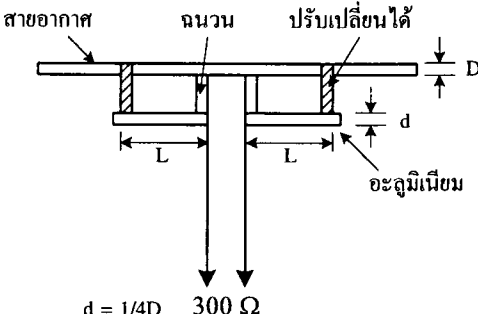
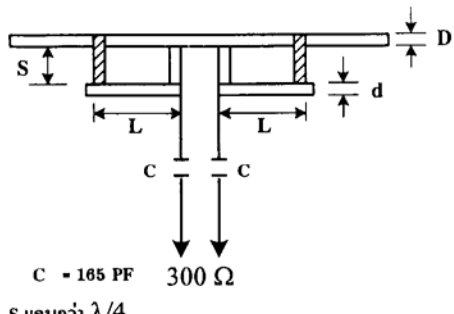
1. ตรวจสอบแบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 5
2. ฝึกปฏิบัติและทดลองตามใบงาน

2. เครื่องมือวัดผล

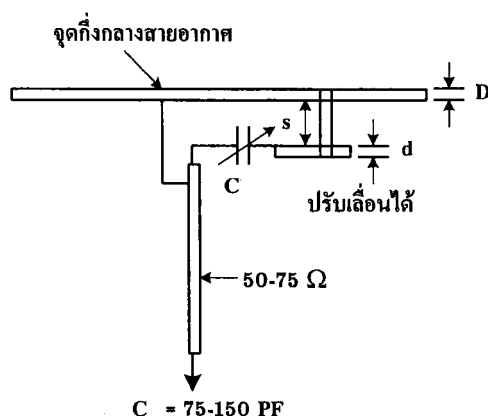
1. แบบประเมินผลการเรียนรู้หน่วยที่ 5
2. แบบประเมินผลการฝึกปฏิบัติ

3. เกณฑ์การประเมินผล

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

	ใบความรู้	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วย การแมตซ์ระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การแมตซ์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณ		จำนวนคาบ 4
1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม 1.1 นักศึกษาสามารถออกแบบสายอากาศด้วยวิธีการแมตซ์แบบตัวทีได้อย่างถูกต้อง 1.2 นักศึกษาสามารถออกแบบสายอากาศด้วยวิธีการแมตซ์แบบแกมมาได้อย่างถูกต้อง 1.3 นักศึกษาสามารถบอกถึงรูปแบบการแมตซ์สายอากาศแบบต่างๆได้อย่างถูกต้อง 2. เนื้อหา 2.1 วิธีแมตซ์รูปตัวที (T) แสดงการแมตซ์แบบตัวทีในรูป 5.1   รูปที่ 5.1 แสดงการแมตซ์โดยวิธีรูปตัวที (ใช้กับสายอากาศแบบ $\lambda/2$ และสายนำสัญญาณขนาด 600 โอห์ม) จากรูปมีส่วนคล้ายกับไดโพลแบบห้ว (FOLD DIPOLE) เพราะถ้าเราเพิ่มความยาวของ L ให้เท่ากับสายอากาศก็เป็นไดโพลแบบห้วได้วิธีแมตซ์รูปตัวทีที่จัดว่ามีความยืดหยุ่นในการปรับค่าอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ได้ดี และง่ายต่อการสร้างด้วย เหมาะที่ให้กับสายแบบเส้นคู่หรือทวินลีดได้ (แบบสมดุล) ส่วนกรณีโคแอกเซียลต้องใช้อุปกรณ์บาลันร่วมในการติดตั้ง หรือใช้วิธีแมตซ์แบบแกมมาไม่ได้ (อธิบายวิธีนี้ในตอนต่อไป) ที่เหมาะกับสายแบบไม่สมดุล		

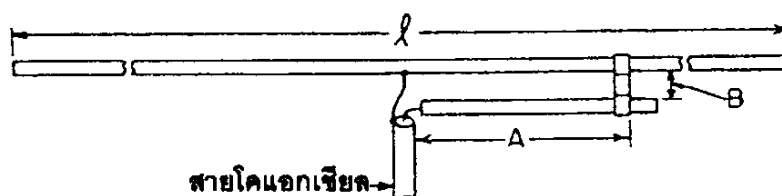
กระแสไฟฟ้าที่ไหล ณ จุดต่อของรูป T ประกอบด้วยกระแสจากสายอากาศที่มาถึง ตัวแปรคลื่นนี้กับตัวนำรูป T โดยมีค่าขึ้นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ และระยะห่างระหว่างทั้งสอง เราอาจพิจารณาส่วนตัวนำกับสายอากาศที่ต่อไปเป็นรูปห่วงว่าเป็นส่วนลัดวงจรของปลายสายนำสัญญาณได้ และเนื่องจากการแมทช์รูปตัว T นี้ความยาวของห่วงมีค่าน้อยกว่า $\lambda/4$ ทำให้เกิดค่ารีแอ็กแตนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้นซึ่งถ้าสายอากาศเกิดรีโซแนนซ์ที่มีความถี่ใช้งานค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของ T จะมีทั้งความต้านทาน และค่ารีแอ็กแตนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้น เราต้องกำจัดค่ารีแอ็กแตนซ์นี้ให้หมดไป เพื่อเกิดผลการแมทช์ที่ดีกับสายนำสัญญาณ วิธีที่ทำคือ ลดขนาดสายอากาศให้เกิดค่ารีแอ็กแตนซ์เชิงประจุไฟฟ้า เพื่อนำไปหักล้างกันจนหมด หรืออีกวิธีคือ ต่อตัวเก็บประจุอนุกรมกับจุดต่ออินพุท ดังแสดงในรูป 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงการต่อตัวเก็บประจุอนุกรมเพื่อปรับค่ารีโซแนนซ์

2.2 วิธีแมทช์แบบเกมม่า

พิจารณารูป 5.3



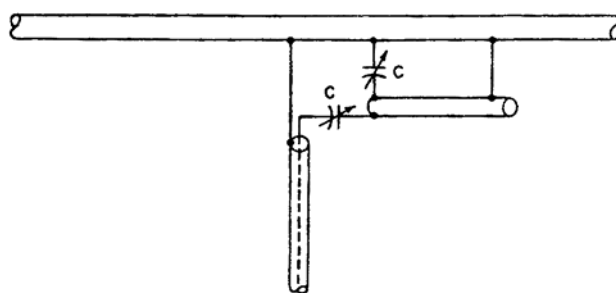
รูปที่ 5.3 แสดงวิธีแมทช์แบบเกมม่าโดยใช้สายโคแอกเซียล

ขนาด 52 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม

วิธีแก้ม่าใช้หลักการเดียวกับวิธีรูปตัวที แต่มีเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้นเหมาะที่จะใช้กับสายแบบไม่สมดุล เช่น สายโคแอกเซียล เป็นต้นวิธีกำจัดค่ารีแอ็กแตนซ์ก็เช่นเดียวกันคือ ลดขนาดสายอากาศ หรือ ตัวต่อเก็บประจุอนุกรมลงไป

2.3 วิธีแมชท์แบบโอเมก้า

วิธีนี้มีการปรับปรุงเพิ่มขึ้นจากวิธีแบบแก้ม่า โดยใช้ตัวเก็บประจุต่อทั้งขนานและอนุกรม เพื่อกำจัดค่ารีแอ็กแตนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าให้หมดไป ดังแสดงในรูป 5.4

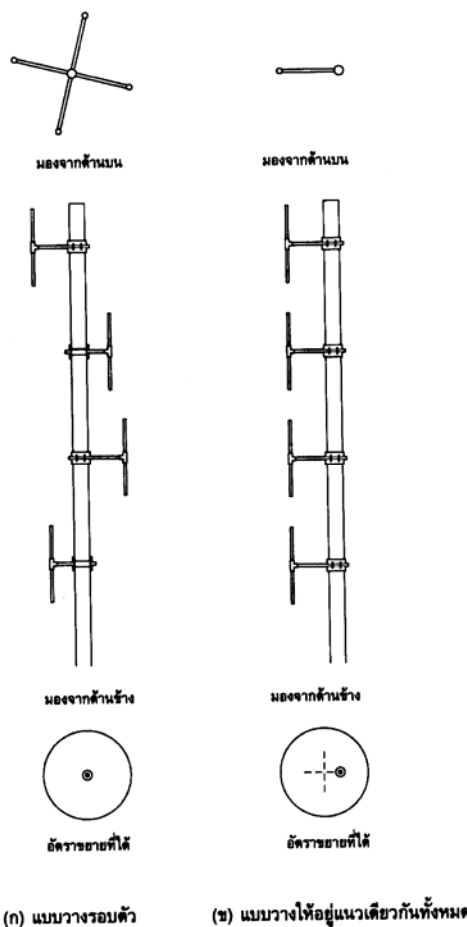


รูปที่ 5.4 แสดงวิธีแมชท์แบบโอเมก้า

จากรูป C_1 เป็นตัวเก็บประจุอนุกรมที่มีอยู่แต่เดิม

C_2 เป็นตัวเก็บประจุที่เพิ่มขึ้นมา

2.4 การ Stack สายอากาศ



รูปที่ ข5.5 แสดงวิธีการจัดวางไดโพล 2 แบบที่นิยมกันสำหรับสแต็ก

การนำสายอากาศพื้นฐานมาต่อขนานกันหรือนิยมเรียกว่านำมาสแต็กกันจะลดผลของสายนำสัญญาณที่มีต่อการทำงานของสายอากาศไปได้มาก ปรับแต่งได้ง่าย และสามารถเดาอัตราขยายที่ได้ค่อนข้างแม่นยำ เช่น เมื่อนำสายอากาศพื้นฐาน 2 คันมาสแต็กกันเป็นแบบที่นิยม 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° ออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน ดังนั้นไดโพลจะหันหน้าทำมุมกัน 90° เรียงกันไปรอบเสากลาง อัตราขยายในทุกทิศทางเท่ากันประมาณ 6 dB ในทางปฏิบัติแล้วการติดตั้งวิธีนี้จะทำให้สัญญาณที่ไดโพลแต่

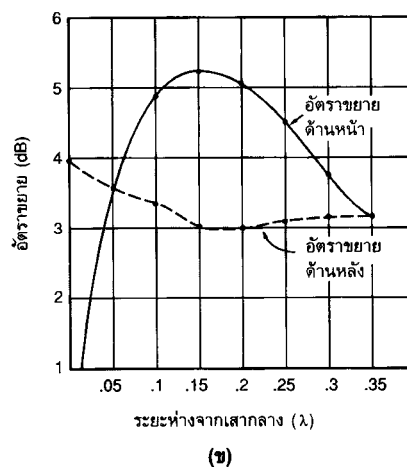
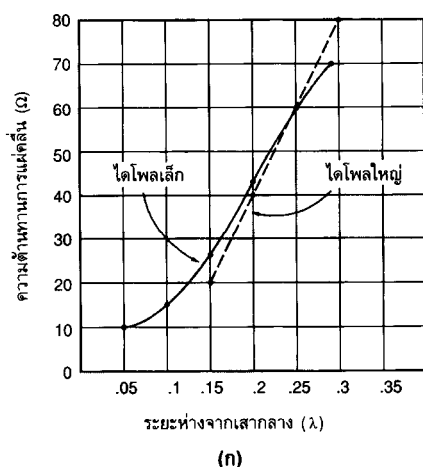
ละตัวรับได้มีขนาดไม่เท่ากัน และมีเฟสไม่ตรงกันทีเดียวจึงมีการหักล้างและการเสริมกันแล้วแต่ระยะห่างและทิศทางของกลุ่มสถานี

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

2.5 หลักการเบื้องต้นที่ควรรู้จัก

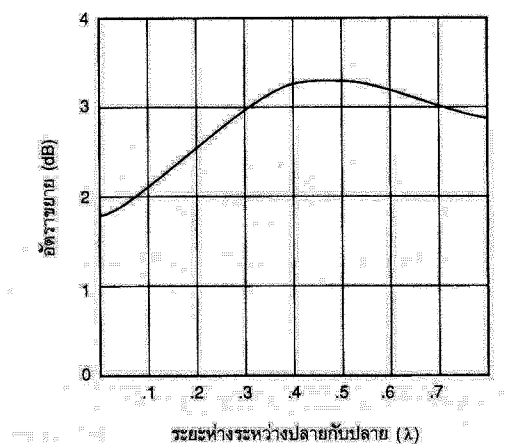
ผลของเสากลาง ในการนำเอาสายอากาศไดโพลมาเสกกัน ในแนวตั้งและยึดติดเข้ากับเสากลางนั้น เราสามารถใช้ผลการทดลองเกี่ยวกับสายอากาศ Yagi มาใช้งานได้ ทั้งนี้เพราะเสากลางทำหน้าที่คล้ายรีเฟลกเตอร์ และไดโพลทำหน้าที่คล้ายครีเวนอีลีเมนต์ รูปที่ ข5.6 แสดงผลการทดลองดังกล่าว จากกราฟในรูปที่ ข5.6 (ก) จะเห็นว่าเมื่อนำเอาไดโพลตัวหนึ่งมาวางห่างจากเสากลางประมาณ 0.22λ (วัดจากเส้นผ่านศูนย์กลางของไดโพลถึงเส้นผ่านศูนย์กลางของเสากลาง) ค่าความต้านทานการแผ่คลื่น หรืออิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ความถี่โซแนนซ์จะเป็น 50 โอห์ม

ส่วนกราฟในรูปที่ ข5.6 (ข) แสดงผลของระยะห่างระหว่างไดโพลและเสากลางที่มีต่ออัตราขยายในทิศด้านหน้าและด้านหลังจะเห็นว่า ที่ค่าระยะห่างน้อยกว่า 0.1λ อัตราขยายด้านหน้าจะตกลงอย่างรวดเร็ว ในทางปฏิบัติแล้วเราจึงมักจะวางไดโพลให้ห่างจากเสากลางไม่น้อยกว่า 0.1λ (และมักจะไม่น้อยกว่า 0.15λ สำหรับไดโพลขนาดใหญ่) ยิ่งห่างมากยิ่งขึ้น เพราะแถบความถี่จะกว้างขึ้น แต่ก็ไม่ควรห่างเกินกว่า 0.25λ ซึ่งอัตราขยายด้านหน้าเริ่มตกลงมามาก



รูปที่ ข5.6 แสดงผลการทดลองนำเอาไดโพลตัวเดียวมาวางห่างเสากลางที่ระยะต่างๆ

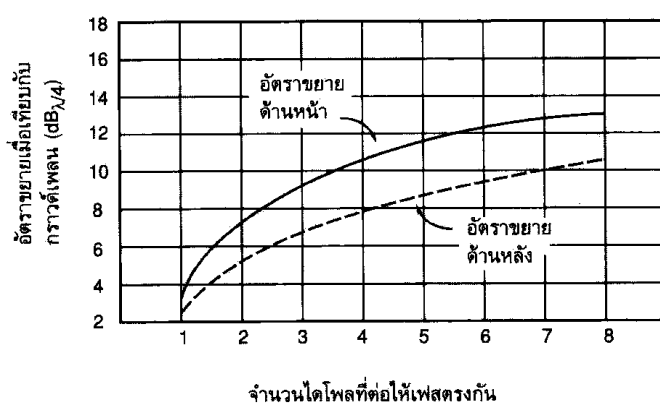
2.6 ผลของระยะห่างระหว่างไดโพล



รูปที่ ข5.7 แสดงผลการทดลองนำเอาไดโพลมาเสกเดียวกัน 2 ตัวที่ระยะต่างๆ
ระหว่างปลายของไดโพลตัวหนึ่งกับอีกตัวหนึ่งที่อยู่ติดกัน

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

2.7 อัตราขยายที่ได้จากการเสก



รูปที่ ข5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายที่ได้กับจำนวนไดโพลที่นำมาเสกเดียวกัน

ให้ห่าง 0.22λ จากเสากลาง และปลายห่างกัน 0.48λ

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

2.8 การต่อสายแมทชิง

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

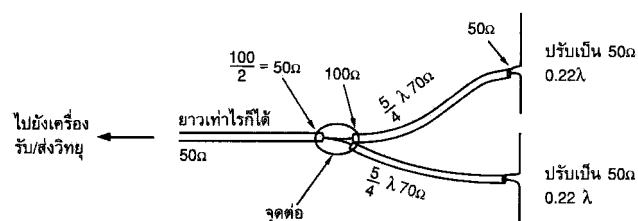
วิธีการแปลงอิมพีแดนซ์ที่ง่ายวิธีหนึ่ง คือ ใช้สายแมทชิง (MATCHING SECTION) หรือที่เรียกว่า ควอเตอร์เวฟทรานสฟอร์เมอร์ หรือสายเฟสชิง หลักการคือ เมื่อนำเอาสายแมทชิงที่มีอิมพีแดนซ์เป็น Z_0 ที่มีความยาวทางไฟฟ้าเป็นจำนวนเลขคี่ของ $\frac{\lambda}{4}$ (เช่น $\frac{\lambda}{4}, 3\frac{\lambda}{4}, 5\frac{\lambda}{4} \dots\dots$) มาต่อเข้ากับอุปกรณ์ (สายอากาศ) ที่มีอิมพีแดนซ์เป็น Z_L อิมพีแดนซ์ (Z_s) ที่ปรากฏที่ปลายอีกข้างหนึ่งของสายแมทชิงจะมีความสัมพันธ์กับ Z_0 และ Z_L ดังนี้

$$Z_0 = \sqrt{Z_s Z_L}$$

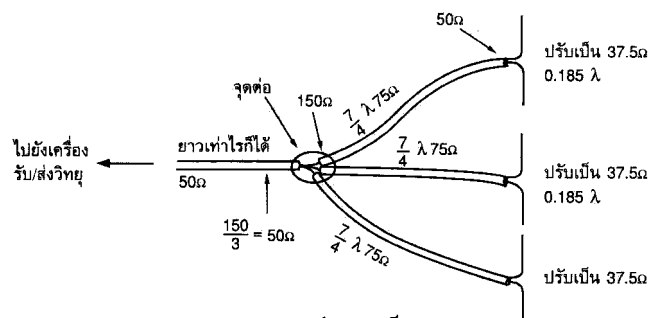
ดังนั้นเมื่อทราบค่าอิมพีแดนซ์ของสายแมทชิงที่ใช้และอิมพีแดนซ์ที่ถูกแปลงมาแล้วก็หาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ต้องสร้างขึ้นได้จาก

$$Z_L = \frac{Z_0^2}{Z_s}$$

จากตัวอย่างต้องแปลงอิมพีแดนซ์ของไดโพลแต่ละต้นให้เป็น 100 โอห์มเสียก่อน โดยการนำเอาสายโคแอกเชียลที่มีอิมพีแดนซ์ 70 โอห์ม และมีความยาวทางไฟฟ้าเป็นจำนวนเท่าเลขคี่ของ $\frac{\lambda}{4}$ มาทำเป็นสายแมทชิงโดยแทรกเข้าไปที่ไดโพลแต่ละตัวก่อน ดังนั้นเมื่อมองที่อีกปลายหนึ่งของสายแมทชิงจะมองเห็นอิมพีแดนซ์เป็น 100 โอห์มเมื่อนำมาขนานกันก็จะได้อิมพีแดนซ์รวมเป็น 50 โอห์มสามารถต่อเข้ากับสายโคแอกเชียล 50 โอห์ม เพื่อไปเข้ากับเครื่องรับ/ส่งวิทยุต่อไป



(ก) การต่อ 2 สเต็ก



(ข) การต่อ 3 สเต็ก

รูปที่ ข5.9 แสดงตัวอย่างวิธีการแมทซ์โคโพล 2 และ 3 สเต็ก

จากรูปที่ ข5.9 สายแมทซ์ที่ใช้ต้องยาว $5\frac{\lambda}{4}$ เพื่อให้ความยาวพอที่จะมาต่อรวมกันได้ และถ้าต้องการจะให้เป็น 3 สเต็ก ต้องเอาสายอากาศทั้ง 3 ตัวมาต่อรวมกันเพื่อให้ผลรวมออกมาเป็น 50 โอห์ม พร้อมทั้งจะต่อเข้ากับสายโคแอกเซียล 50 โอห์ม สายอากาศโคโพลแต่ละตัวจะต้องถูกแปลงขึ้นมาเป็น 3 เท่าของ 50 โอห์ม คือ 150 โอห์มนั่นเอง แต่ถ้ามีสายโคแอกเซียลเพียง 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 สเต็กแสดงให้เห็นในรูปที่ ข5.9 (ข) ซึ่งจะต้องปรับระยะห่างจากเสากลางเป็นประมาณ 0.185λ เพื่อให้ได้ความต้านทานประมาณ 37.5 โอห์ม

2.9 ความยาวจริงของสายแมทซ์

ความยาวจริงจะสั้นกว่าความยาวทางไฟฟ้า เพราะคลื่นวิทยุจะเดินทางในสายได้ช้ากว่าเดินทางในอากาศ ดังนั้นเมื่อต้องการทราบความยาวที่แท้จริงของสายอากาศโคแอกเซียล จะต้องนำเอาตัวคูณทางความเร็ว (Velocity Factor หรือ V) ของสายโคแอกเซียลที่ใช้คูณเข้าไป 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 $5\frac{\lambda}{4}$ จะหาความยาวจริงได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวจริง} &= 5\frac{\lambda}{4} \times v \\
 &= \frac{5}{4} \left(\frac{29980}{f} \right) \times v \\
 &= \frac{5}{4} \times \frac{29980}{f} \times 0.66 \\
 &= 170.6 \quad \text{เซนติเมตร}
 \end{aligned}$$

2.10 สรุปหลักการสแต็กสายอากาศแบบ YAGI

การนำสายอากาศแบบ YAGI มาสแต็กกัน 2 แผง เพื่อให้ได้อัตราการขยายที่สูงขึ้น ใช้สายนำสัญญาณ 75 โอห์ม ที่มีชื่อหามาทำการแมทช์ ดันแบบใช้สาย RG 11 คัดความยาวตามสูตร

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

เมื่อ n = จำนวนคี่ 1,3,5,7,9,...

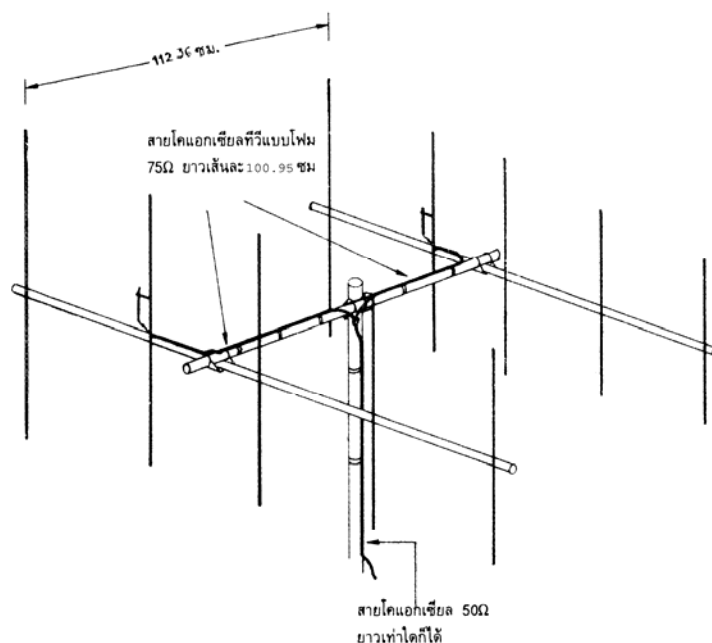
L = ความยาวของสายเฟสซึ่ง

λ = ความยาวคลื่น

vc = ค่าความเร็วคงตัวของสาย

การนำสายสัญญาณจากสายอากาศทั้ง 2 ชุดมารวมกันเพื่อต่อเข้ากับสายนำสัญญาณทำได้ 2 วิธี

1. ในกรณีที่นำสายอากาศไปติดตั้งได้ทีละแผง ควรใช้ข้อต่อ 75 โอห์ม 3 ทางร่วมกับปลั๊ก PL-259 เพื่อความสะดวก
2. ในกรณีที่นำสายอากาศไปติดตั้งได้พร้อมกันทั้ง 2 แผง ให้ทำการต่อแบบเชื่อมบักกรีด้วยตะกั่ว

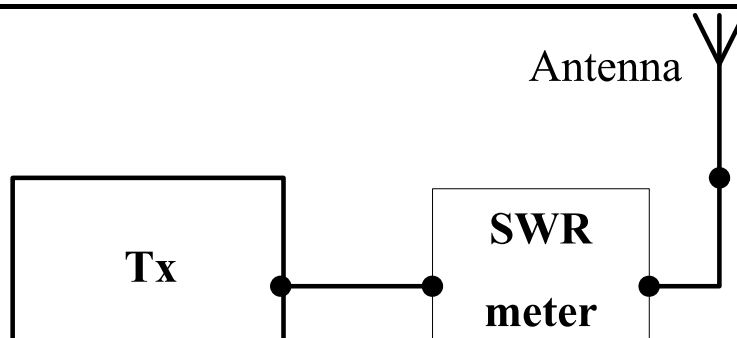


รูปที่ ข5.11 แสดงระยะห่างระหว่างสายอากาศ 5E 2 ต้นและการต่อสายแต่ละต้นมาขนานกัน

ขั้นตอนการปรับแต่ง

1. นำสายอากาศ 2 ต้นยึดกับเสากลางดังรูปที่ ข5.11
2. คำนวณหาค่าความยาวของสายเฟสซึ่ง ดังที่กล่าวมาแล้ว
3. นำสายที่ได้จากการคำนวณมาต่อเข้ากับ 3 ทาง 75 โอห์ม โดยนำด้านหนึ่งต่อเข้ากับดัมมีโหลด ที่รู้ค่าโอห์มแน่นอน
4. ปรับแกนแม่เหล็กของสายอากาศจนได้ค่า SWR ต่ำสุด แล้วเปลี่ยนข้างปรับสายอากาศอีกต้นตามข้อ 3
5. ปลดดัมมีโหลดออก แล้วนำสายอากาศ 2 ต้น ต่อตรงถึงกัน ปรับแกนแม่เหล็กจนได้ค่า SWR ต่ำสุด

	ใบงาน	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วย การแมทซ์ระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การแมทซ์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณ		จำนวนคาบ 4
1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม 1.1 นักศึกษาสามารถติดตั้งพร้อมปรับแต่งสายอากาศแบบแมทซ์รูปตัวทีตามเวลาที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง (30 นาที) 1.2 นักศึกษาสามารถติดตั้งพร้อมปรับแต่งสายอากาศแบบแกมม่าแมทซ์ตามเวลาที่กำหนดได้อย่างถูกต้อง (30 นาที) 1.3 นักศึกษาสามารถทำสาย Phasing Line เพื่อการ Stacking สายอากาศได้อย่างถูกต้อง 1.4 นักศึกษาสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และแก้ปัญหาร่วมกันได้ 2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 2.1 สายอากาศแบบแมทซ์รูปตัวทีและแบบแกมม่าแมทซ์ 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. ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติ ตอนที่ 1		



3.1 บันทึกขั้นตอนการปฏิบัติงานจากการสาธิตของผู้สอน (2.5)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3.2 ต่ออุปกรณ์ตามรูป 1 สายอากาศแบบแมทซ์ซึ่งรูปตัวที่ หมายเลข ใช้ SWR มิเตอร์วัดค่าที่จุด 1 ปรับเลื่อนท่อนลูมิเนียมจนได้ค่าที่ต่ำสุด มีค่า :1 กำลังส่งออกอากาศต่อกำลังสะท้อนกลับเท่ากับ...../.....

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

3.4 ต่ออุปกรณ์ตามรูป เปลี่ยนอุปกรณ์สายอากาศแบบแกมมาแมทซ์ซึ่งหมายเลข...4... ปรับและเลื่อนท่อนลูมิเนียมจนอ่านค่าจาก SWR มิเตอร์ได้ต่ำสุด..... :1 กำลังส่งออกอากาศต่อกำลังสะท้อนกลับเท่ากับ...../.....

4. ปัญหา

4.1 จากข้อที่ 3.2 อะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่า SWR มีค่าลดลงเมื่อปรับเลื่อนท่อนลูมิเนียม (2.5)

ตอบ

.....

.....

.....

4.2 เราสามารถหาค่า D, L และขนาด d ได้อย่างไรถ้าต้องการส่งสัญญาณวิทยุความถี่ 245 MHz

(5)

ตอบ

[illegible]

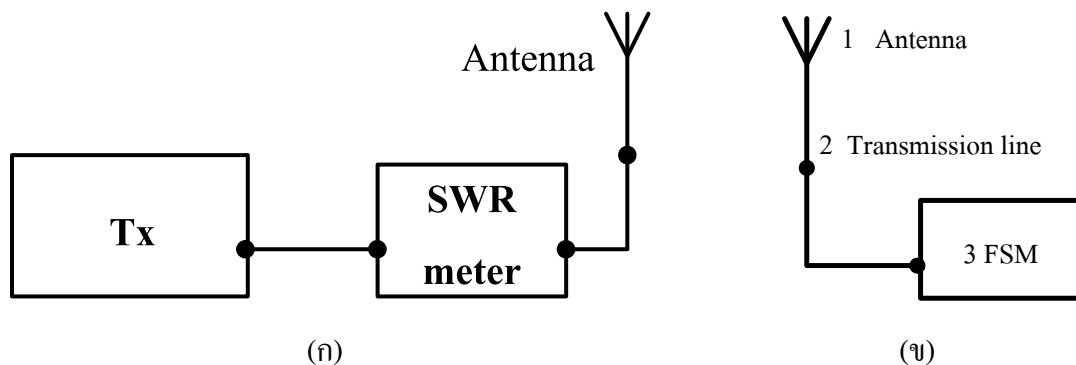
4.3 การแมทช์แบบทีแมทช์และเกมม้าแมทช์มีข้อแตกต่างกันอย่างไร (2.5)

ตอบ

This image shows a single sheet of white paper with horizontal dotted lines, typical of primary-ruled notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

ตอนที่ 2

5. ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติ



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

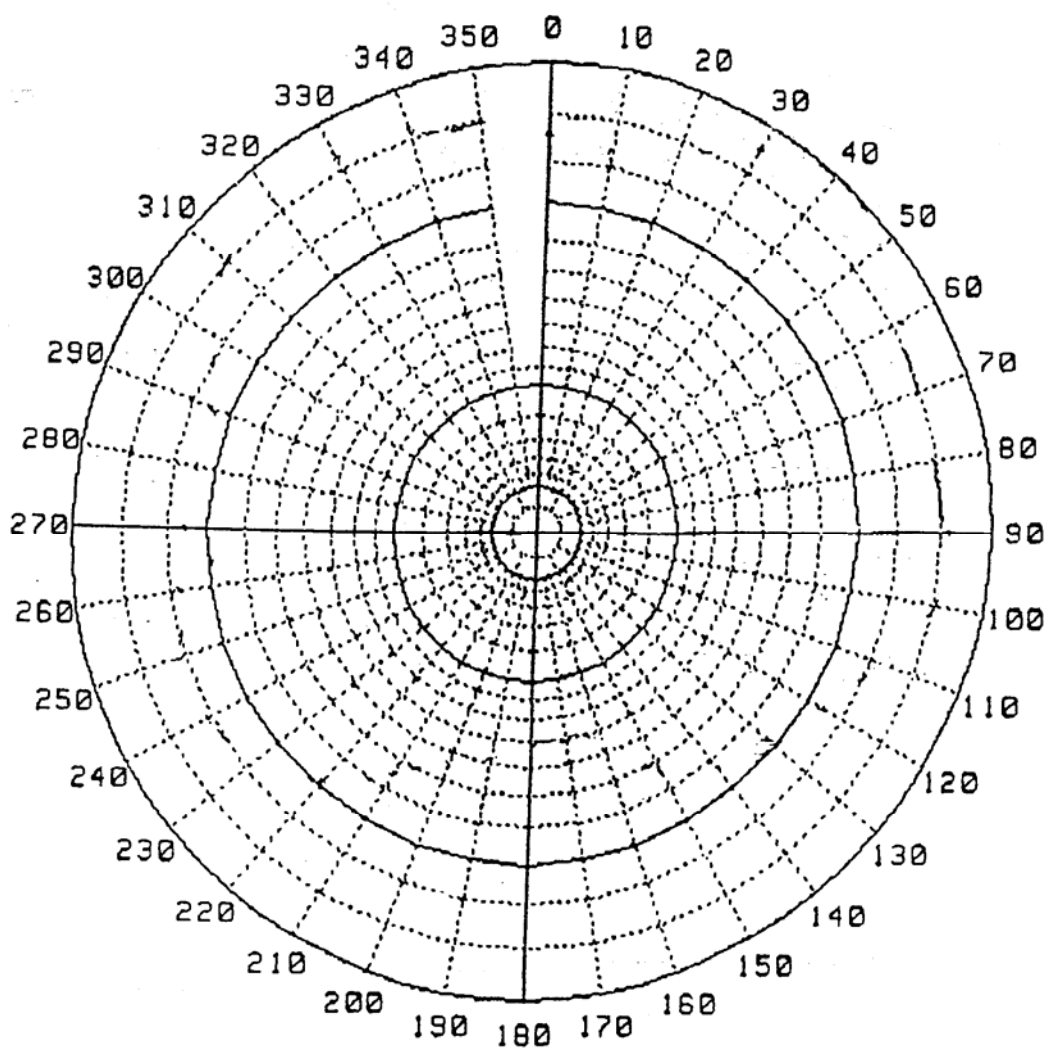
5.4 วัดค่า SWR อ่านค่าจากหน้าปัดได้ :1

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

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

[illegible]

7. สรุปผลการทดลอง (5)

[illegible]

	แบบประเมิน	หน่วยที่ 5
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 5
	ชื่อหน่วย การแมทซ์ระบบสายอากาศ	
เรื่อง/งาน การแมทซ์สายอากาศเข้ากับสายสัญญาณ		จำนวนคาบ 4
1. การแมทซ์โดยใช้รูปแบบตัวที่ จะใช้ได้กับสายนำสัญญาณแบบใด ก. แบบโคแอกเชียล 75 Ω ข. แบบโคแอกเชียล 50 Ω ค. แบบทวินลีด 300 Ω ง. ใช้ได้กับสายทุกชนิด 2. การปรับปรุงสายอากาศที่แมทซ์แบบตัวที่ให้ทำงานได้ดียิ่งขึ้นทำได้ด้วยวิธีในข้อใด ก. ทำความยาวของห้วงให้มีค่าน้อยกว่า $\frac{1}{4}$ ของความยาวคลื่น ข. ปรับแกนแมทซ์ให้ค่า VSWR มีค่าต่ำสุด ค. เปลี่ยนสายนำสัญญาณเป็น 75 Ω ง. ต่อตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้ประมาณ 0-160 nF ที่จุดฟีดทั้ง 2 ข้างเพื่อให้เกิดการรีโซแนนซ์ 3. สายอากาศแบบเกมมาแมทซ์มีความแตกต่างกับแบบทีแมทซ์อย่างไร ก. มีการแมทซ์เพียงครึ่งหนึ่งของรูปตัวที ข. มีอิมพีแดนซ์อยู่ระหว่าง 50-75 Ω ค. มี C ปรับค่าได้ในลักษณะอนุกรม ง. ถูกทั้งข้อ ก และข้อ ข		

4. ข้อเสียของสายอากาศแบบทีแมทซ์และแกมม่าแมทซ์ที่เหมือนกันตรงกับข้อใด
- เป็นสายอากาศที่ไม่บาลานซ์ นำมาต่อกับบาลานซ์โดยตรงไม่ได้
 - เกิดความชื้นจึงทำให้ค่าอิมพีแดนซ์เปลี่ยนเนื่องจากการต่อตัวเก็บประจุ C
 - มีปัญหาเรื่องการแผ่คลื่นได้น้อยจึงทำให้ส่งสัญญาณได้ไกล
 - เมื่อนำมาต่อกับสายโคแอกเชียลจะเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณ เพราะเป็นสายอากาศแบบบาลานซ์
5. สายอากาศชนิดใดที่ปรับปรุงมาจากสายอากาศแบบแกมม่าแมทซ์
- แบบทีแมทซ์
 - แบบโอเมก้าแมทซ์
 - แบบเดลต้าแมทซ์
 - แบบแฮร์พินแมทซ์
6. สายอากาศแบบทีแมทซ์ความถี่ที่ใช้งานคือ 240 MHz ความยาวแกนแมทซ์ควรมีค่าเท่าไร
- 10% ของ $\frac{\lambda}{4}$
 - 15% ของ $\frac{\lambda}{4}$
 - 20% ของ $\frac{\lambda}{4}$
 - 20% ของ $\frac{\lambda}{2}$
7. จากข้อ 6 ถ้า D มีค่าเท่ากับ 3 mm. ค่า d ควรมีค่าเท่าไร
- $\frac{1}{2} D$
 - $\frac{1}{3} D$
 - $\frac{1}{4} D$
 - $\frac{1}{5} D$

8. สายอากาศแบบแกมม่าแมทซ์ ควรมีความยาวแกนแมทซ์ (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. แกนแมทซ์ที่สั้นของการแมทซ์แบบทีแมทซ์และแกมม่าแมทซ์ทำให้เกิดผลตรงกับข้อใด

ก. อิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม

ข. อิมพีแดนซ์ 50 – 75 โอห์ม

ค. ค่า L

ง. ค่า C

10. ระยะห่างระหว่าง Driver กับแกนแมทซ์ควรมีค่าเท่าไร

ก. $\frac{\lambda}{2}$

ข. มากกว่า $\frac{\lambda}{2}$

ค. น้อยกว่า $\frac{\lambda}{4}$

ง. $\frac{\lambda}{4}$

แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
ใบงานที่ 5 การแพทย์สายอากาศเข้ากับสายนำสัญญาณ

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 คริเว่นอีลีเมนต์ และการแมทช์แบบต่างๆ ที่นิยมใช้กับสายอากาศ Yagi หา Pattern ของสายอากาศแบบ Yagi สาระการเรียนรู้ 1. การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi ตามวิธีของ NBS 2. คริเว่นอีลีเมนต์และการแมทช์แบบต่างๆ ที่นิยมใช้กับสายอากาศ Yagi 3. หา Pattern ของสายอากาศแบบ Yagi ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง สาระที่ 1 การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi ตามวิธีของ NBS มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ มาตรฐานที่ 3 ติดตั้งและทดสอบคุณสมบัติสายส่งและสายอากาศ สาระที่ 2 คริเว่นอีลีเมนต์และการแมทช์แบบต่างๆ ที่นิยมใช้กับสายอากาศ Yagi มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ สาระที่ 3 หา Pattern ของสายอากาศแบบ Yagi มาตรฐานที่ 1 วิเคราะห์ลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ กิจกรรมการเรียนการสอน จ้่านำเข้าสู่บทเรียน 1. นักศึกษาฟังคำอธิบายประกอบการสาธิตการทดลองใบงานที่ 6		

2. นักศึกษาดึงใจฟังคำสั่งจากครูเกี่ยวกับขั้นตอนการทดลองที่สำคัญ 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 ดี 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

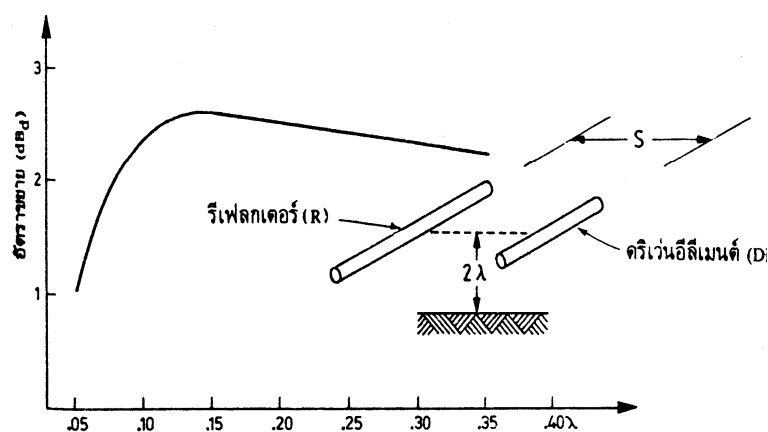
3. เกณฑ์การประเมินผล

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 นักศึกษาสามารถอธิบายวิธีการแมทซ์ครีเวนอิลีเมนต์แบบต่างๆ 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 เป็นสายอากาศทิศทางแบบหนึ่งที่ได้รับคามนิยมใช้งานมานาน ตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่สองและก็ได้รับความนิยมเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา มีผู้พยายามวิจัยเพื่อหาวิธีการออกแบบที่จะทำให้สายอากาศมีอัตราขยายต่อความยาวของบูมมากที่สุดโดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ตั้งแต่ระยะห่างระหว่างอิลีเมนต์ต่าง ๆ จำนวนไดเรกเตอร์ และเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของอิลีเมนต์ต่าง ๆ ซึ่งก็พบด้วยว่าขนาดต่าง ๆ เหล่านี้ทั้งหมดมีผลกระทบระหว่างกันพอเปลี่ยนตัวหนึ่ง ก็ต้องเปลี่ยนระยะของตัวอื่นไปด้วย เพราะทุกอย่างมีผลกระทบถึงอัตราขยาย รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น และคามถี่ใช้งาน จากการวิจัยใช้การทดลองเป็นหลัก ซึ่งต้องใช้เวลาอย่างมากกว่าจะได้ผลการทดลองที่สามารถสรุปได้ บางการวิจัยต้องใช้คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่เข้าช่วย เพื่อทดสอบสมการทางคณิตศาสตร์ว่าสามารถอธิบายพฤติกรรมต่าง ๆ ของสายอากาศ Yagi ได้แม่นยำน่าพอใจหรือไม่ เมื่อพบว่าน่าพอใจหรือพอเชื่อถือได้แล้วจึงนำมาใช้วิเคราะห์หา ระยะห่าง และความยาวที่เหมาะสมอีกทีหนึ่ง จนกระทั่งล่าสุดนี้ได้พัฒนามาถึงขั้นใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบสายอากาศ Yagi ให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ตามที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ ในผลการวิจัยทั้งหลายนั้นผลงานที่น่าสนใจ เป็นวิธีการซึ่งสำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ (National Bureau of Standards หรือ NBS) ของอเมริกาวิจัยเอาไว้ แม้ว่าวิธีนี้จะให้		

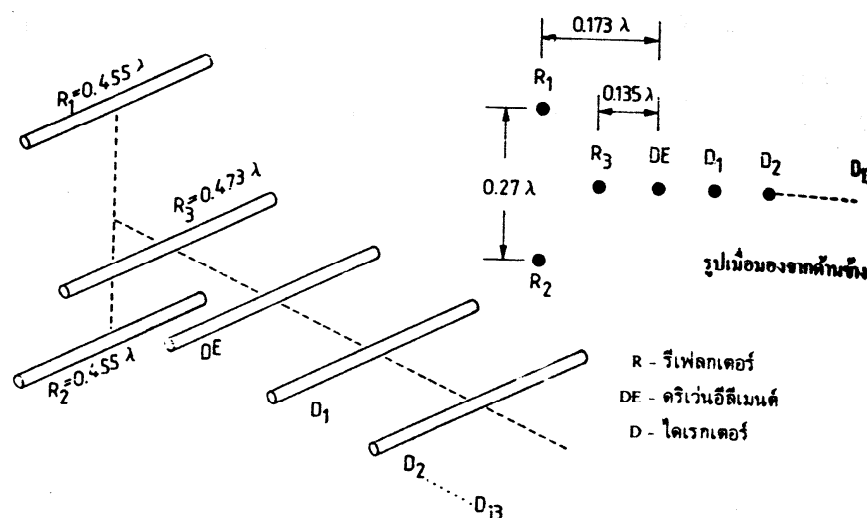
อัตราขยายยังไม่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นในปัจจุบันที่ใช้คอมพิวเตอร์ (จะได้อัตราขยายน้อยกว่าวิธีที่ดีที่สุดในปัจจุบันอยู่ประมาณ 1dB) แต่ก็เป็วิธีง่าย ๆ ซึ่งสามารถทำตามได้ แม่นยำ และให้ผลการใช้งานที่น่าพอใจ วิธีนี้ใช้ได้กับการออกแบบสายอากาศ Yagi ที่ความถี่ใดก็ได้ตั้งแต่ VHF ถึง UHF ที่มีความยาวมุมประมาณตั้งแต่ 0.4λ ถึง 4.2λ 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 ข 6.1



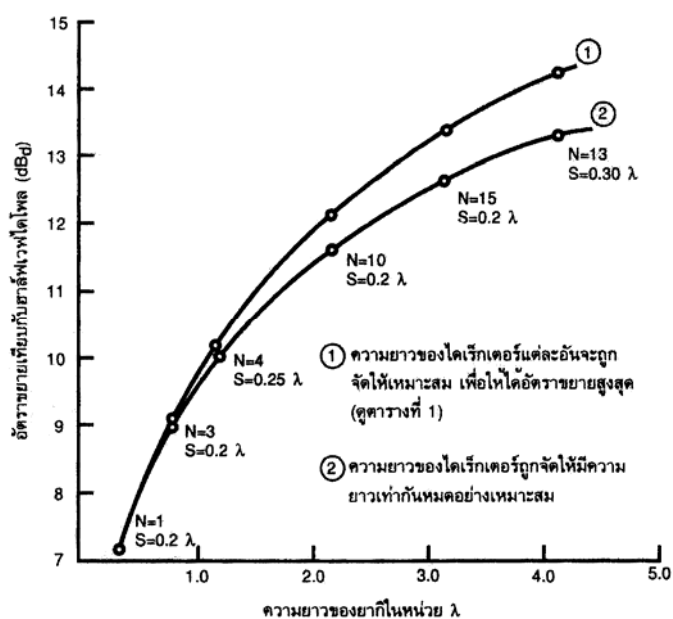
รูปที่ ข6.1 แสดงผลการทดลองหาอัตราขยายของสายอากาศ Yagi สำหรับระยะห่างต่าง ๆ กัน ระหว่างรีเฟลกเตอร์และครีเวนอีลีเมนต์ โดยทดลองที่ความสูงจากพื้นดินประมาณ 2λ

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



รูปที่ ข6.2 แสดงการจัดรีเฟลกเตอร์ 3 อันเป็นรูปสามเหลี่ยมตามการทดลองของ NBS

2. ไดเรกเตอร์ เมื่อจัดรีเฟลกเตอร์แล้วก็มาถึงไดเรกเตอร์ซึ่งนับเป็นหัวใจสำคัญ สำหรับการออกแบบสายอากาศ Yagi จากการทดลองพบว่าทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางความยาวและระยะห่างของไดเรกเตอร์ต่างมีผลกระทบถึงกันหมด นอกจากนั้น ยังพบว่ายังใช้จำนวนไดเรกเตอร์มากขึ้น (โดยใช้ความยาวบวมเพิ่มขึ้นด้วย) ค่าเหล่านี้ก็ยิ่งวิฤตมากขึ้น คือ มีผลมากขึ้น ขนาดหรือระยะต่าง ๆ ผิดเพี้ยนไปหน่อย ก็มีผลต่อการทำงานอย่างเห็นได้ชัดขึ้น



รูปที่ ข6.3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของยา

ในการทดลองของ NBS นั้น เขาเลือกใช้ไดเรกเตอร์ที่มีความยาวต่าง ๆ กัน มาวางให้แต่ละตัวห่างเท่า ๆ กัน ตั้งแต่ 0.01 λ ถึง 0.40 λ บนมุมที่ยาวขึ้นไปถึง 10 λ เมื่อลองเอาผลต่าง ๆ เหล่านี้มาลองเขียนกราฟดูก็พบว่าระยะห่างที่เหมาะสมของไดเรกเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศได้อีก ถ้าเลือกความยาวของไดเรกเตอร์แต่ละอัน ให้เหมาะสมด้วย ในรูปที่ ข.6.3 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตราขยายสูงสุดที่ทดลองได้กับความยาวมุมต่าง ๆ กัน สำหรับกรณีที่ทำให้ความยาวของไดเรกเตอร์แต่ละอันอย่างเหมาะสม

3. เส้นผ่านศูนย์กลางของอีลีเมนต์ ในการทดลองของ NBS เขาพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์มีผลต่อความยาวที่เหมาะสมของตัวมัน เช่น เมื่อเปลี่ยนไดเรกเตอร์ให้อ้วนขึ้นจะต้องเปลี่ยนความยาวให้สั้นลงกว่า ในตารางที่ ข.6.1 จึงจะได้ผลการทดลองอย่างเดิมที่ความถี่กลาง ที่ออกแบบไว้ ดังนั้น เขาจึงทำกราฟรูปที่ ข.6.4 ขึ้นมาเพื่อใช้ในการกรณีที่ต้องการเปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ต่างจาก 0.0085 λ โดยใช้ได้กับเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่จาก 0.001 λ ถึง 0.04 λ วิธีการใช้กราฟ ในรูปที่ ข.6.5 จะได้อธิบายถึงในภายหลัง

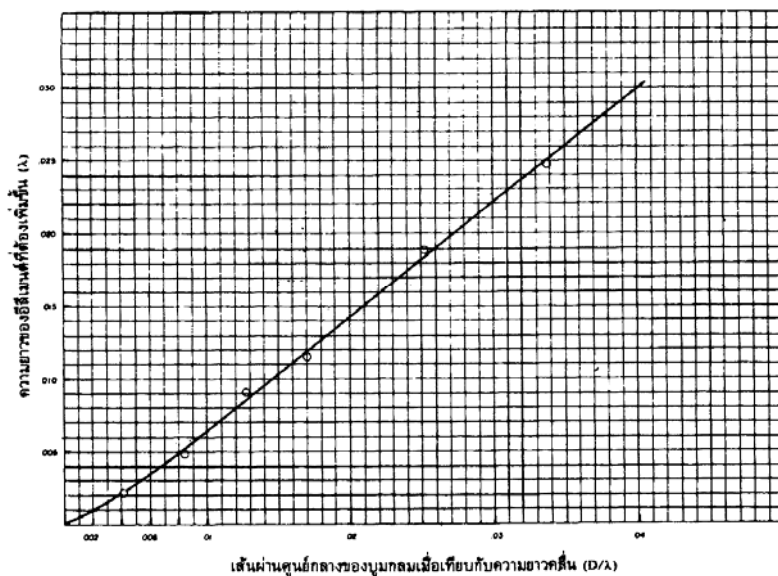
ความยาวของมุม (λ)	0.4	0.8	1.2	2.2	3.2	4.2
จำนวนอีลีเมนต์ทั้งหมด	3	5	6	12	17	15
ความยาวของรีเฟล็กเตอร์ (λ)	0.482	0.482	0.482	0.482	0.482	0.475
ความยาวของไดเรกเตอร์ที่ 1	0.442	0.428	0.428	0.432	0.428	0.424
ที่ 2	—	0.424	0.420	0.415	0.420	0.424
ที่ 3	—	0.428	0.420	0.407	0.407	0.420
ที่ 4	—	—	0.428	0.398	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	—
ระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์ (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 "ข้อสังเกตแย้งผลการทดลองของ NBS")
พบว่าค่าอัตราขยายจริงจะต่ำกว่าค่าที่ NBS ระบุในตารางนี้เล็กน้อย

ตารางที่ ข.6.1 แสดงความยาวที่เหมาะสมของแต่ละอีลีเมนต์ ทุกกรณีนี้รีเฟล็กเตอร์อยู่ห่างจาก

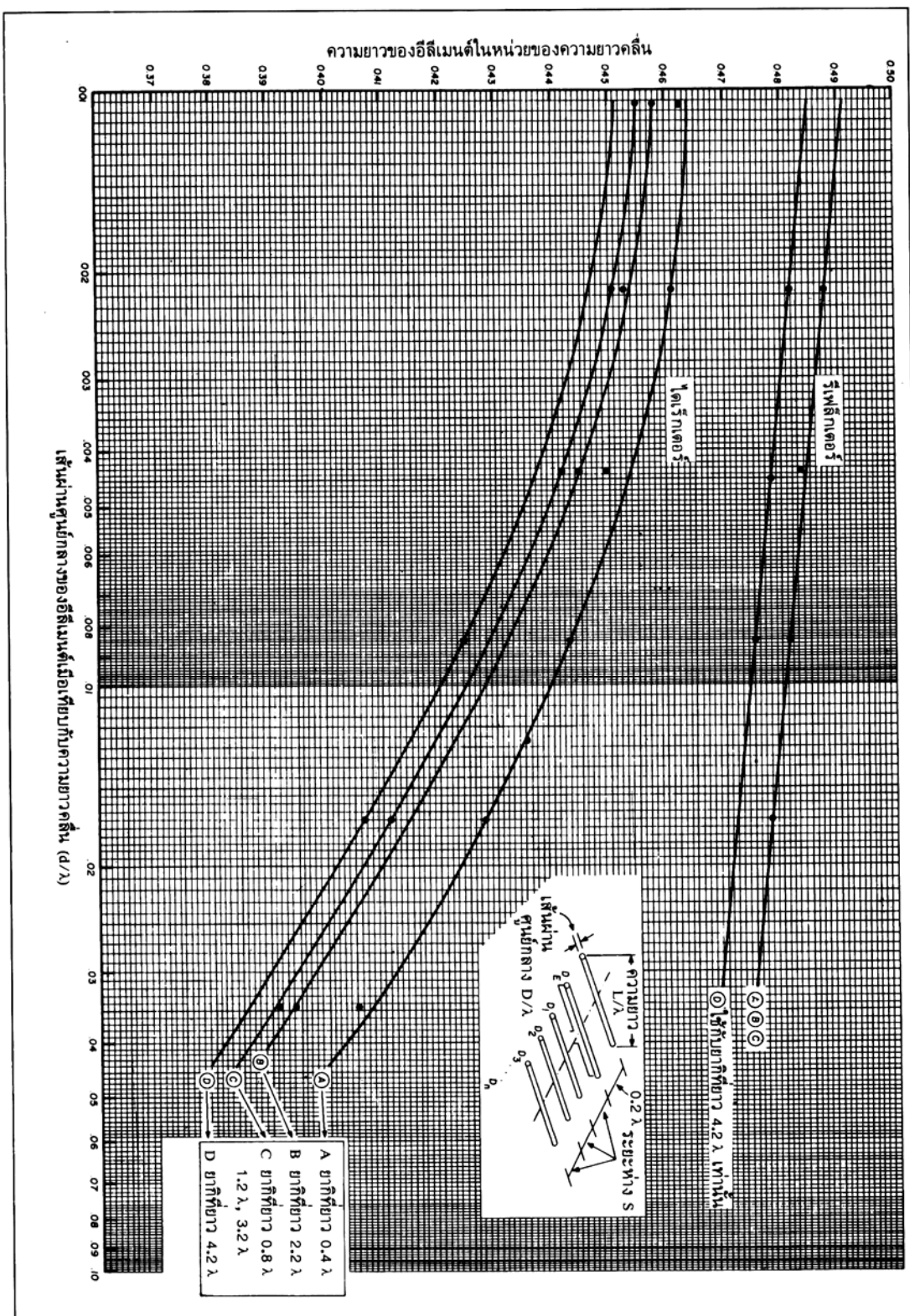
ครีเวนอีลีเมนต์ 0.2λ และเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์เป็น 0.0085λ

4. ผลของบวม ข้อมูลทั้งหลายเกี่ยวกับความยาวของแต่ละอีลีเมนต์ของ NBS ได้มาจากการทดลองบนบวมสามเหลี่ยมซึ่งทำจากฉนวนที่เรียกว่า เฟลทซิกลาส จึงเสมือนหนึ่งเป็นบวมอากาศ หลังจาก ที่ NBS ทดลองจนได้ความยาวที่เหมาะสมแล้วจึงได้ศึกษาผลของบวมที่ใช้วัสดุต่างๆ กัน ที่ขนาด ต่างๆ กันด้วยในรายงานของ NBS ระบุว่าเมื่อใช้บวมเป็นไม้แล้วผลการทำงานของเสาอากาศยากที่จะ ทำซ้ำเดิมได้ เนื่องจากผล ของความชื้นของอากาศแม้จะทาน้ำยากันขึ้นแล้วก็ตามแต่เมื่อใช้บวมเป็น โลหะแล้ว พบว่าสามารถทำซ้ำเดิมได้ง่าย เมื่อเพิ่มความยาวของทุก ๆ อีลีเมนต์ เพื่อชดเชยผล ของบวมในตอนแรก ๆ ดูเหมือนว่าเพิ่มความยาวไปด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่งก็พอแล้ว แต่เมื่อลองทำการ ทดสอบจริง NBS พบว่าบวมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก (เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น) มีผลต่อความยาว ของอีลีเมนต์น้อยกว่าบวมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่านั้นคือยิ่งบวมใหญ่ก็ต้องเพิ่มความยาวของอีลี เมนต์มากขึ้น รูปที่ ข6.4 แสดงความยาวของทุกอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้น เมื่อยัดทะลุผ่านบวมกลมขนาด ต่าง ๆ กัน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 0.04λ นอกจากนั้น NBS ยังพบอีกว่าบวมสี่เหลี่ยมและบวมกลม ให้ผลเท่ากัน



รูปที่ ข6.4 กราฟแสดงความยาวของอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้นจากผลการทดลองของ NBS

เมื่อยัดอีลีเมนต์ทะลุผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบวมกลมโดยสัมผัสทางไฟฟ้ากับบวมด้วย



รูปที่ ข6.5 กราฟช่วยการออกแบบสายอากาศ Yagi ของ NBS

5. ครีเวนอีลีเมนต์และการแมทช์ ในรายงานของ NBS ระบุว่าความยาวของครีเวนอีลีเมนต์ไม่ค่อยมีผลต่อการทำงาน (ในด้านอัตราขยายและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น) ของสายอากาศ Yagi ที่ออกแบบนี้เท่าไร トラバิดที่ความยาวทางไฟฟ้าใกล้เคียง $\lambda/2$ และยังคงสั้นกว่ารีเฟลคเตอร์ ดังนั้น NBS จึงไม่ได้ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับความยาวที่แน่นอนของครีเวนอีลีเมนต์ และวิธีการแมทช์มาให้อวิธีการแมทช์จะมีผลตรงที่มักจะทำให้แถบความถี่ใช้งาน (BAND WIDTH) ของสายอากาศแคบลงมาน้อยเพียงใด และบางแบบอาจมีการแผ่คลื่นออกมาด้วย หรือทำให้กระแสในแต่ละซีกของครีเวนอีลีเมนต์ไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลให้รูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศผิดเพี้ยนไปบ้าง สำหรับการทดลองส่วนใหญ่ ของ NBS แล้ว จะใช้โฟลเดดโคโพลเป็นครีเวนอีลีเมนต์ โดยมีโคแอกเซียลบาลัน 4:1 และมีสตัปมาช่วยการแมทช์

6. ความแม่นยำในการสร้าง NBS ระบุว่าระยะและขนาดต่าง ๆ ควรผิดพลาดจากแบบไปไม่เกิน 0.003λ เพื่อได้ผลการทำงานคืออย่างที 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 แล้วดูว่าที่อัตราขยายที่ต้องการนั้นต้องใช้ความยาวของบูมเท่าไร สำหรับย่านความถี่ที่ต้องการใช้งานถ้าคิดว่ายาวเกินไปแก้ไขโดยลดความต้องการในด้านอัตราขยายลงเพื่อให้ความยาวของบูมสั้นลง

2. เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอีลีเมนต์ว่าจะเอาค่าใดจาก 0.001λ ถึง 0.04λ (เพื่อให้สามารถใช้กราฟในรูปที่ 6.5 ได้) ขนาดที่เลือกนี้ควรแข็งแรงเพียงพอ ที่จะรับน้ำหนักของตัวเองได้โดยไม่โก่งงอ ยิ่งอีลีเมนต์อ้วนขึ้น ก็จะทำให้แถบความถี่ใช้งานของสายอากาศกว้างขึ้น

3. เลือกขนาดของบูมว่าจะใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเท่าไร โดยพิจารณาว่าจะต้องเข้มแข็งเพียงพอสำหรับความยาวของบูมที่ต้องการ และกำหนดวิธียึดอีลีเมนต์ด้วยว่า จะยึดลอยเหนือบูม โดยใช้นวนคั่นระหว่างอีลีเมนต์และบูมหรือจะยึดทะลุสอดผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบูม (ซึ่งจะต้องชดเชยความยาวของทุกอีลีเมนต์โดยใช้กราฟในรูปที่ ข6.4)

4. หาความยาวจริงของไดเรกเตอร์และรีเฟลคเตอร์สำหรับค่า d/λ ที่ได้จากกราฟในรูปที่ ข6.5 โดยใช้เส้นกราฟสำหรับความยาวของบูมที่อ่านค่าได้โดยตรงเลยคือความยาวของรีเฟลคเตอร์และไดเรกเตอร์ตัวที่ 1 (D_1) ส่วนไดเรกเตอร์ตัวอื่น ๆ ต้องใช้วิธีเทียบระยะห่างบนกราฟที่ห่างจากตำแหน่งที่เส้น d/λ นั้น ๆ ตัดกับเส้นกราฟ ให้ห่างเท่ากับที่ตำแหน่งที่เส้น 0.0085λ ตัดกับเส้นกราฟห่างจากแต่ละไดเรกเตอร์ (ดูค่าจากตารางที่ ข6.1) บนเส้นกราฟแล้วจึงเทียบว่าเท่ากับความ

ยาวโค สำหรับรายละเอียดตรงนี้ขอให้ดูจากตัวอย่างการออกแบบจะเข้าใจได้ดีขึ้น

5. ในกรณีที่ยึดอิลีเมนต์ผ่านกลางบูม โดยสัมผัสทางไฟฟ้าให้เพิ่มความยาวของทุกอิลีเมนต์โดยใช้กราฟในรูปที่ ข6.4

6. เลือกวิธีการแมทซ์ที่จะใช้และคำนวณความยาวของครีเวนอิลีเมนต์จากหัวข้อถัดไป เมื่อสร้างเสร็จแล้วอาจปรับแต่งความยาวของครีเวนอิลีเมนต์ได้อีกเล็กน้อยเพื่อให้ SWR ดีขึ้น สำหรับในการตัดความยาวขึ้นต้น อาจตัดความยาวของครีเวนอิลีเมนต์ให้ยาวประมาณ 0.466λ ก่อน (ซึ่งเทียบเท่ากับใช้ ตัวคูณ k เป็นประมาณ 0.93 ก่อน) แล้วจึงค่อยมาตัดให้สั้นลง หรือเพิ่มความยาวขึ้นเล็กน้อยในขณะ ปรับแต่ง SWR

2.3 ครีเวนอิลีเมนต์ และการแมทซ์แบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้กันกับสายอากาศ Yagi

1) สปลิตไดโพล

ในรูปที่ ข6.6 (ก) เป็นครีเวนอิลีเมนต์แบบพื้นฐานที่สุดคือเป็นฮาร์ฟเวฟไดโพลที่แยกตรงกลางของไดโพลออก เพื่อให้เป็นจุดต่อสำหรับสายนำสัญญาณแบบนี้มีข้อเสียอยู่ตรงที่ ตัวไดโพลจะมาสัมผัสทางไฟฟ้ากับตัวบูมไม่ได้ จึงต้องมีลวดวนมาคั่นออกจากรั้วแล้ว ถ้าใช้สปลิตไดโพลอย่างเดียว จะให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศยากี้ออกมาต่ำไป (อยู่ในช่วงประมาณ 15 ถึง 25 โอห์ม) จึงต้องใช้วิธีการแมทซ์อย่างอื่นมาช่วยยกอิมพีแดนซ์ให้สูงขึ้นสอดคล้องกับสายนำสัญญาณที่ใช้

2) โพลเดคไดโพล

ในรูปที่ ข6.6 (ข) เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาวางอย่างของสปลิตไดโพลได้ โดยจะช่วยยกอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ Yagi ให้ขึ้นมาเป็นประมาณ 4 เท่าของวิธีที่ใช้สปลิตไดโพล จึงอาจใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นจุดกลางของด้านที่อยู่ตรงข้ามกับจุดต่อสายสามารถยึดเข้ากับบูมได้เลยโดยตรง การยึดติดจึงง่ายขึ้นข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือ โพลเดคไดโพลจะให้แถบความถี่ใช้งาน (BAND WIDTH) ได้กว้างกว่าสปลิตไดโพลที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอิลีเมนต์เท่ากัน ในบางกรณีการเพิ่มอิมพีแดนซ์ของโพลเดคไดโพลธรรมดายังไม่เหมาะสมกับสายนำสัญญาณที่ใช้ ก็อาจเปลี่ยนเป็นโพลเดคไดโพลอย่างในรูปที่ ข6.6 (ค) ซึ่งสามารถจัดอิมพีแดนซ์ให้ตรงตามความต้องการได้ดีขึ้น โดยให้ด้านที่เป็นจุดต่อสายมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างจากด้านตรงข้าม (โดยทั่วไปมักจะให้มีขนาดเล็กกว่า) การเปลี่ยนระยะห่าง (S) หรือการเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง (d_1/d_2) จะช่วยให้สามารถแมทซ์อิมพีแดนซ์เข้ากับสายนำสัญญาณต่าง ๆ ได้

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

โพลเดคไดโพลทั้งแบบธรรมดาและแบบดัดแปลงที่กล่าวมานี้ สามารถใช้งานได้ดีและเหมาะสมที่จะใช้กับสายนำสัญญาณแบบบาลานซ์ที่นิยมใช้กัน (ที่มีอิมพีแดนซ์ 200 ถึง 300 โอห์ม) เมื่อทดลองจนแมทซ์ได้เรียบร้อยแล้ว ก็สามารถนำมาสร้างตามสำหรับต้นอื่น ๆ ได้ง่าย ข้อเสียที่สำคัญ คือ กว้าง

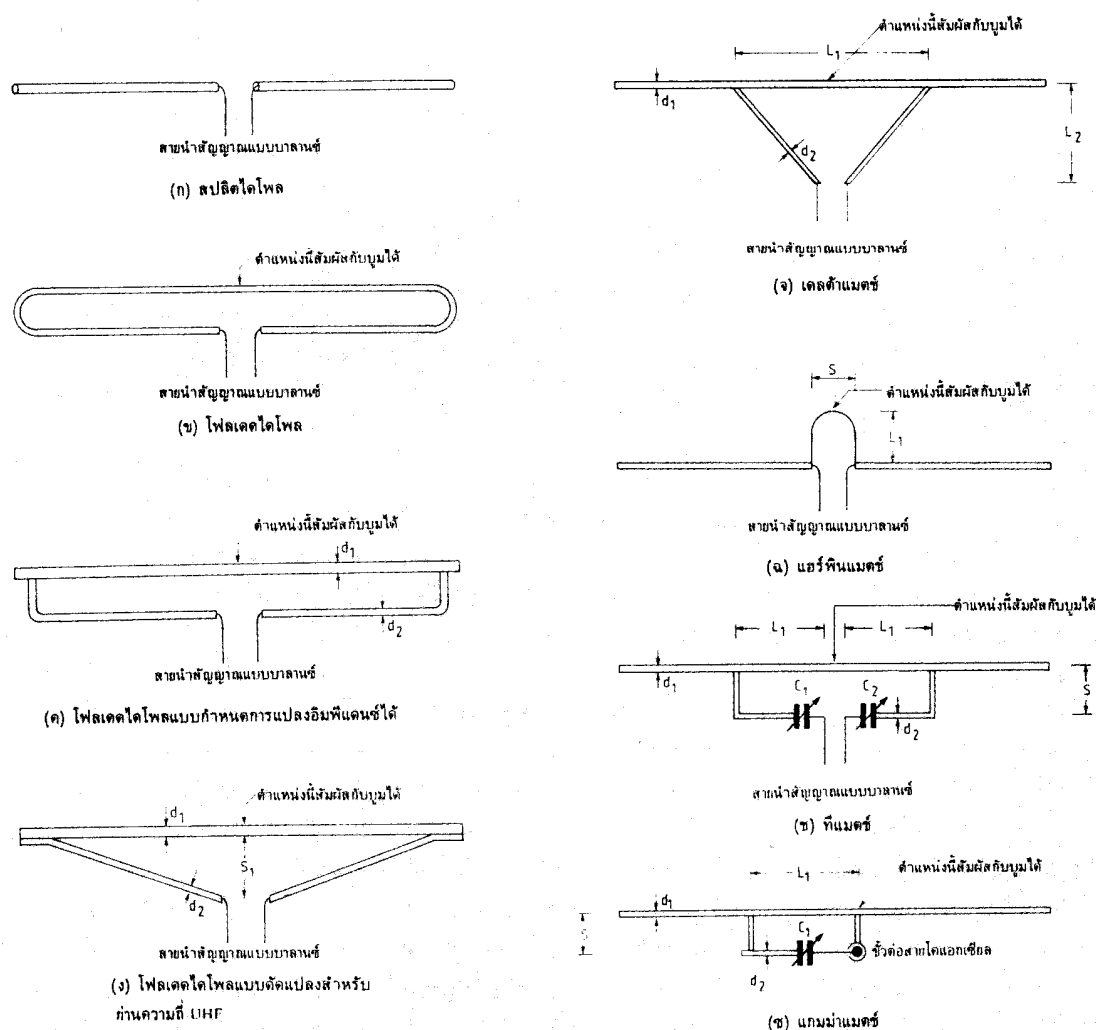
จะแมทช์คันแรกได้ ต้องใช้วิธีลองเปลี่ยนขนาดโครงสร้างที่ง่ายขึ้น คือ เกล็ด้าแมทช์ ดังรูปที่ ข6.6 (จ) เกล็ด้าแมทช์นั้นสร้างได้ง่าย อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อสายขึ้นกับความยาว L_1 และ L_2 หรืออัตราส่วน d_1/d_2 แต่ถ้า L_1 และ L_2 ยาวมากน้อยเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น อาจมีการแผ่คลื่นออกมาบ้าง ทำให้ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง และเพิ่มคลื่นด้านข้างให้มากขึ้น

3) แฮร์พินแมทช์

ในรูปที่ ข6.6 (ฉ) เป็นวิธีการแมทช์อีกแบบหนึ่งที่สร้างได้ง่ายใช้ร่วมกับสปลิตไดโพล แฮร์พิน ซึ่งหน้าตาเป็นรูปตัวยู มาต่อคร่อมจุดต่อสาย ทำหน้าที่เป็นอินดักติฟรีแอคแตนซ์เพื่อช่วยยกอิมพีแดนซ์เดิมของสายอากาศให้สูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงต้องตัดครีเวนอีลีเมนต์ให้สั้นกว่า ความยาวรีโซแนนซ์เล็กน้อยให้เกิดค่าปาสซีฟรีแอคแตนซ์เพื่อมาชดเชยกับค่าอินดักติฟรีแอคแตนซ์ที่เพิ่มเข้ามานี้ อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อสายขึ้นกับระยะห่าง S และความยาว L_1

รูปที่ ข6.6 (ซ) เป็นวิธีที่เรียกว่า ทีแมทช์ ทำงานคล้ายกับเกล็ด้าแมทช์แต่มีปัญหาการแผ่คลื่นน้อยกว่ามาก การปรับอิมพีแดนซ์ทำได้โดยเปลี่ยนค่า L_1 และ S อัตราส่วน d_1/d_2 ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ทำหน้าที่หักล้างค่าอินดักติฟรีแอคแตนซ์ที่เหลืออยู่ของส่วนที่เป็น d_2 ในบางกรณีถ้าลดความยาวของครีเวนอีลีเมนต์ลงเล็กน้อย ก็อาจทำให้ไม่ต้องใช้ C_1 และ C_2 ได้ ข้อเสียที่สำคัญของทีแมทช์ คือการใช้ตัวเก็บประจุ (ถ้าใช้) ซึ่งอาจทำให้กำลังส่งและสภาพความชื้นของอากาศมีผลต่อการทำงาน นอกจากนั้น โครงสร้างของทีแมทช์อาจไม่สะดวกในการสร้างสำหรับย่านความถี่ที่สูงกว่า 450 MHz

วิธีสุดท้ายที่ขอแนะนำในที่นี้ คือแกมมาแมทช์ ในรูปที่ ข6.6 (ซ) ซึ่งเป็นแบบลดรูปของทีแมทช์ คือมีเพียงครึ่งเดียวของทีแมทช์ การแมทช์แบบนี้เหมาะสำหรับใช้กับสายโคแอกเซียลโดยตรงโดยไม่ต้องใช้บาลันช่วยเหมือนการแมทช์โดยวิธีอื่น ทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วเรียกว่าใช้กับสายนำสัญญาณแบบไม่บาลานซ์ได้โดยตรง ข้อเสียของแกมมาแมทช์เป็นเช่นเดียวกับทีแมทช์ คือ มีการใช้ตัวเก็บประจุและมีความยุ่งยากด้านโครงสร้าง ในบางกรณีอาจหลีกเลี่ยงการใช้ตัวเก็บประจุโดยตรงได้ โดยใช้สายโคแอกเซียลสั้น ๆ ที่ถอดเอาชีลด์และฉนวนหุ้มภายนอกออกหมด (เหลือแต่ลวดตัวนำตรงกลาง และไดอิเล็กทริก) มาสอดในท่อ d_2 ซึ่งมีขนาดพอดีกับสายปลายลวดตัวนำตรงกลางที่โผล่ออกมาจากท่อจะเป็นขั้วสำหรับต่อกับลวดตัวนำตรงกลางของสายโคแอกเซียลที่จะไปหาเครื่องรับ/ส่งวิทยุ ตัวท่อ d_2 และลวดตัวนำตรงกลางของสายโคแอกเซียลจะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุ C_1 การปรับค่า C_1 ทำได้โดยการปรับความยาวของสายโคแอกเซียลสั้นๆนี้ เมื่อปรับแต่งเสร็จก็หาทางป้องกันไม่ให้ น้ำ และความชื้นเข้าไปยุ่งกับสายโคแอกเซียลสั้น ๆ เส้นนี้ วิธีนี้จะช่วยลดผลของกำลังส่งและความชื้นลงได้

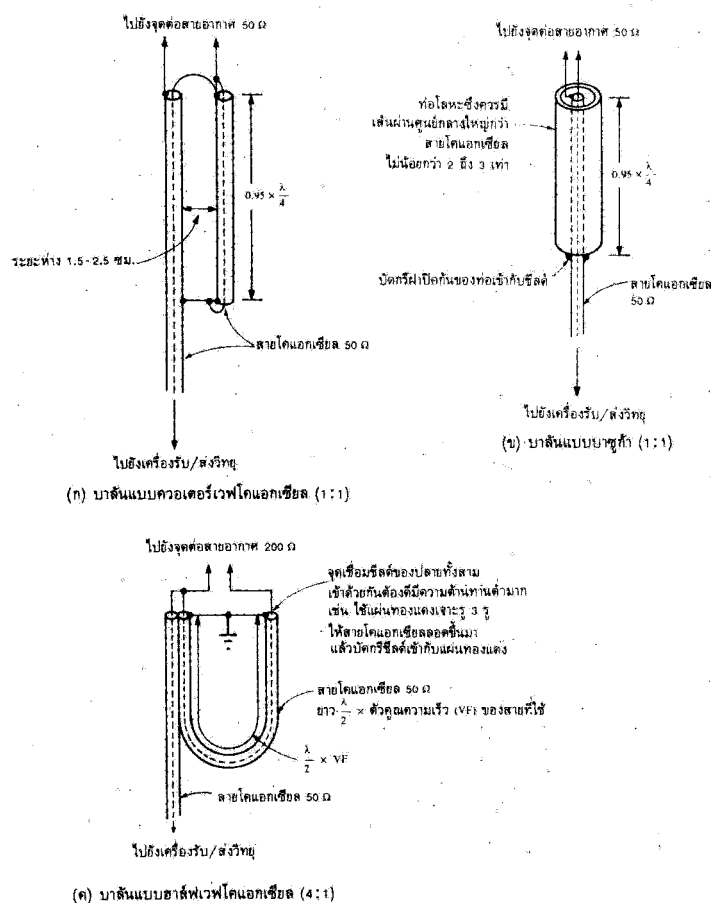


รูปที่ ข6.6 แสดงครีเวนอีลีเมนต์และวิธีการแมทช์แบบต่างๆที่นิยมใช้กับสายอากาศ Yagi

วิธีการแมทช์ทั้งหมดที่กล่าวมา ยกเว้นแบบแกมมาแมทช์ เป็นแบบบาลานซ์สายนำสัญญาณ ที่มาต่อด้วยจึงต้องเป็นแบบบาลานซ์ด้วย ถ้าเอาสายนำสัญญาณแบบไม่บาลานซ์ (เช่น สายโคแอกเซียล) มาต่อโดยตรง อาจมีการแผ่คลื่นออกมาจากสาย ซึ่งอาจทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นผิดเพี้ยนไป และอาจทำให้อัตราขยายของสายอากาศลดลง ดังนั้นในทางปฏิบัติที่นิยมใช้สายนำสัญญาณ แบบโคแอกเซียล จึงต้องมีบาลัน มาต่อคั่นระหว่างสายโคแอกเซียลและสายอากาศเพื่อทำการบิบบไม่ให้มีกระแสไหลที่ผิวนอกของสายชีลด์ โดยทั่วไปเรานิยมใช้วิธีการแมทช์แบบบาลานซ์เหล่านี้อยกิมพีแดนซ์ของสายอากาศขึ้น เป็นประมาณ 200 โอห์ม แล้วใช้บาลันซ์แบบ 4:1 มาแปลงอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกเซียล 50 โอห์ม ให้ขึ้นมาเป็น 200 โอห์ม แบบบาลานซ์ เพื่อให้แมตช์กับสายอากาศพอดี

ส่วนแบบเกมมามีเมทซ์นั้นมักจะถูกใช้เพื่อยกิมพีแดนซ์ขึ้นมาเป็น 50 โอห์ม เพื่อใช้กับสายโคแอกเชียล 50 โอห์มโดยตรง รูปที่ ข6.7 แสดงหน้าตาของบาลันแบบต่าง ๆ ที่สร้างได้ง่ายและนิยมใช้กัน

ในทางปฏิบัติ อาจดูแนวทางว่าขนาดและระยะต่าง ๆ ของการเมทซ์แบบต่าง 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 โดยใช้โอลีเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มม. ดิบนนวนเหนือบวม บวมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มม. ด้วยอัตราขยายค่านี้คือการออกแบบสำหรับบวมยาว 1.2 λ นั่นเอง

หาความยาวคลื่นได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{29980}{f(MHz)} \quad \text{ซม.} \\ &= \frac{29980}{50.1} = 598.4 \text{ ซม.} \\ \therefore d/\lambda &= \frac{1.3}{598.4} = 0.0021\lambda\end{aligned}$$

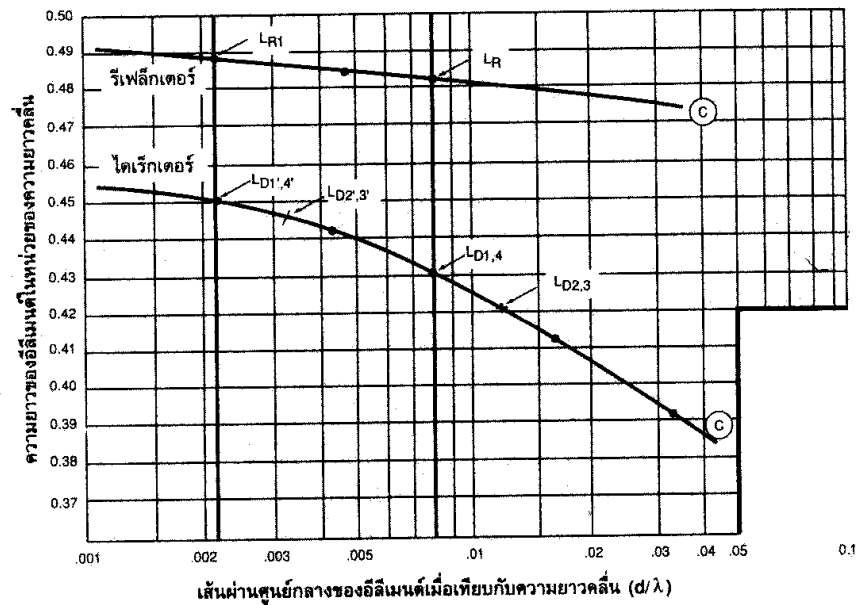
จากตารางที่ ข6.1 สำหรับมุมยาว 1.2λ และ $d/\lambda = 0.0085\lambda$ ตามที่ NBS ทดลอง จะได้

$$\begin{aligned}L_R &= 0.482\lambda \\ L_{D1} &= L_{D4} = 0.428\lambda \\ L_{D2} &= L_{D3} = 0.420\lambda\end{aligned}$$

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

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเราต้องการให้ d/λ เป็น 0.0021λ ดังนั้น ให้ลากเส้นตั้งฉาก d/λ เป็น 0.0021λ ขึ้นไปสัมผัสกับกราฟ C จะได้ความยาว L_R' และ $L_{D1',4'}$ (เพราะ $L_{D4} = L_{D1}$) ซึ่งเป็นความยาวของรีเฟลกเตอร์ และ D_1 สำหรับ d/λ เป็น 0.0021λ ต่อไปเป็นการหาตำแหน่งของ L_{D2} และ L_{D3}' สำหรับ d/λ เป็น 0.0021λ 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

$$\begin{aligned}L_R' &= 0.488\lambda \\ L_{D1}' &= L_{D4}' = 0.451\lambda \\ L_{D2}' &= L_{D3}' = 0.446\lambda\end{aligned}$$

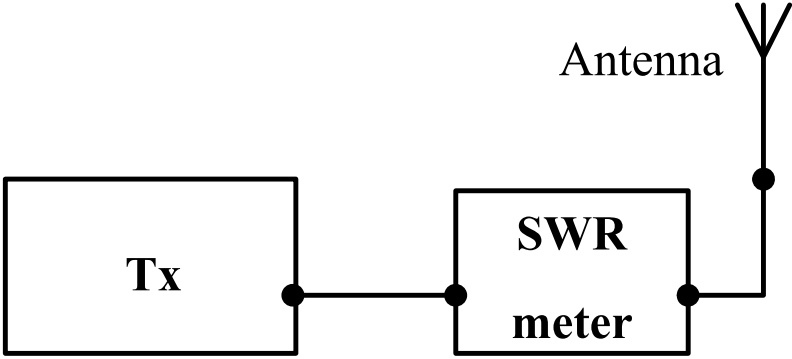


รูปที่ ข6.8 แสดงการใช้กราฟช่วยการออกแบบสายอากาศ Yagi ตามตัวอย่างที่ 1

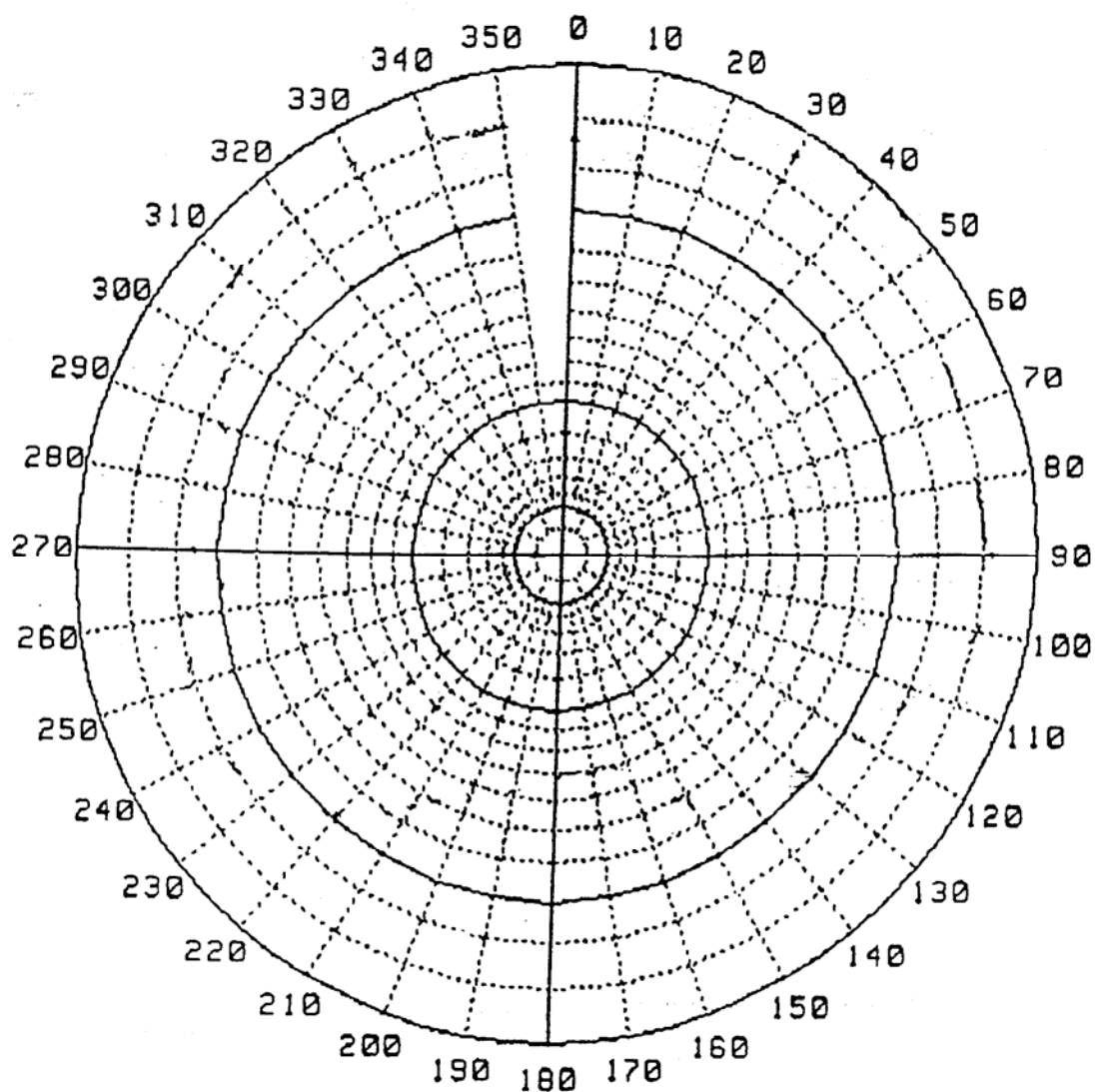
เพื่อให้ได้ สายอากาศ 6 E สำหรับความถี่ 50.1 MHz บนบวมยาว 1.2λ

เนื่องจากทุกอีลีเมนต์ไม่ได้สัมผัสทางไฟฟ้ากับบวมเลย จึงไม่ต้องมีการชดเชยความยาวใดๆ เราก็จะได้อีลีเมนต์เป็นดังนี้

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

	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 <table> <tr> <td>2.1 เส้นสแตนเลสขนาด 3 mm.</td><td>1</td><td>ชุด</td></tr> <tr> <td>2.2 เครื่องส่งย่านความถี่ VHF (245 MHz)</td><td>1</td><td>เครื่อง</td></tr> <tr> <td>2.3 เครื่องวัด SWR มิเตอร์</td><td>1</td><td>เครื่อง</td></tr> <tr> <td>2.4 กล่องเครื่องมือ</td><td>1</td><td>ชุด</td></tr> </table> 3. ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติ 			2.1 เส้นสแตนเลสขนาด 3 mm.	1	ชุด	2.2 เครื่องส่งย่านความถี่ VHF (245 MHz)	1	เครื่อง	2.3 เครื่องวัด SWR มิเตอร์	1	เครื่อง	2.4 กล่องเครื่องมือ	1	ชุด
2.1 เส้นสแตนเลสขนาด 3 mm.	1	ชุด												
2.2 เครื่องส่งย่านความถี่ VHF (245 MHz)	1	เครื่อง												
2.3 เครื่องวัด SWR มิเตอร์	1	เครื่อง												
2.4 กล่องเครื่องมือ	1	ชุด												

3.4 นำค่าจากตารางบันทึกผลกราฟ เพื่อหา Pattern ของสายอากาศ (5)



4. ปัญหา

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

ตอบ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

	แบบประเมิน	หน่วยที่ 6
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ	สอนครั้งที่ 6
	ชื่อหน่วย การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi	
เรื่อง/งาน การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi		จำนวนคาบ 4
ใช้ข้อความต่อไปนี้ตอบคำถามข้อที่ 1-4 ก) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ทำหน้าที่สะท้อนคลื่นด้านหลังให้คลื่นเวกเตอร์อิมิตและป้องกันการรับคลื่นจากทางด้านหลังของสายอากาศด้วย ข) เป็นจุดพีคของสายอากาศที่ทำหน้าที่ในการรับหรือส่งคลื่นให้กับเครื่องรับส่งให้ทำงาน ค) เป็นตัวรับสัญญาณส่วนหน้าของสายอากาศให้มีค่า Directivity มากขึ้นและเพิ่ม Gain ของสายอากาศให้มากขึ้น ถ้าจัดระยะห่างให้พอเหมาะ ง) ทำให้สายอากาศรับกำลังงานจากเครื่องส่งได้มากขึ้น - ข้อใดคือหน้าที่ของครีเวนอิมิตของสายอากาศแบบ Yagi - ข้อใดคือหน้าที่ของรีเฟลคเตอร์อิมิตของสายอากาศแบบ Yagi - ข้อใดคือหน้าที่ของไดเรกเตอร์อิมิตของสายอากาศแบบ Yagi - ข้อใดคือหน้าที่ของสตัปการทำงานระหว่างสายส่งกับสายอากาศ - ถ้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโลหะที่ใช้ทำไดเรกเตอร์มีค่ามากขึ้นจะมีผลตามข้อใด - ค่า Z_L เพิ่มขึ้น - Gain การขยายมากขึ้น - Band Width เพิ่มขึ้น - ความยาวของท่อนลดลงเพื่อให้ค่าอื่นคงที่		

ความยาวของบูม (λ)	0.4	0.8	1.2	2.2	3.2	4.2
จำนวนอีลิเมนต์ทั้งหมด	3	5	6	12	17	15
ความยาวของรีเฟล็กเตอร์ (λ)	0.482	0.482	0.482	0.482	0.482	0.475
ความยาวของไดเรกเตอร์ที่ 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	—
ระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์ (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 "ข้อสังเกตเกี่ยวกับการทดลองของ NBS") พบว่าค่าอัตราขยายจริงจะต่ำกว่าค่าที่ NBS ระบุในตารางนี้เล็กน้อย

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

- ก. 0.053
- ข. 0.0053
- ค. 0.0065
- ง. 0.0048

7. จากข้อ 6 ความยาวของรีเฟล็กเตอร์มีค่าตรงกับข้อใด

- 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 ครีเวนอิลี่เมนต์มีความยาวทางไฟฟ้าเท่าใด

- ก. 90.00 ซม.
- ข. 93.13 ซม.
- ค. 96.00 ซม.
- ง. 98.72 ซม.

10. จากข้อ 6 ถ้าต้องการให้การส่งผ่านกำลังงานได้สูงสุด ควรใช้การแมทช์แบบใด

- ก. ทีแมทช์
- ข. เคลด้าแมทช์
- ค. แกมม่าแมทช์
- ง. แสร์พินแมทช์

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	ภาทฤษฎี 30 % คือ..... ภาคปฏิบัติ 70 % คือ.....				

ผู้ประเมิน..... วันที่ เดือน พ.ศ

(.....)

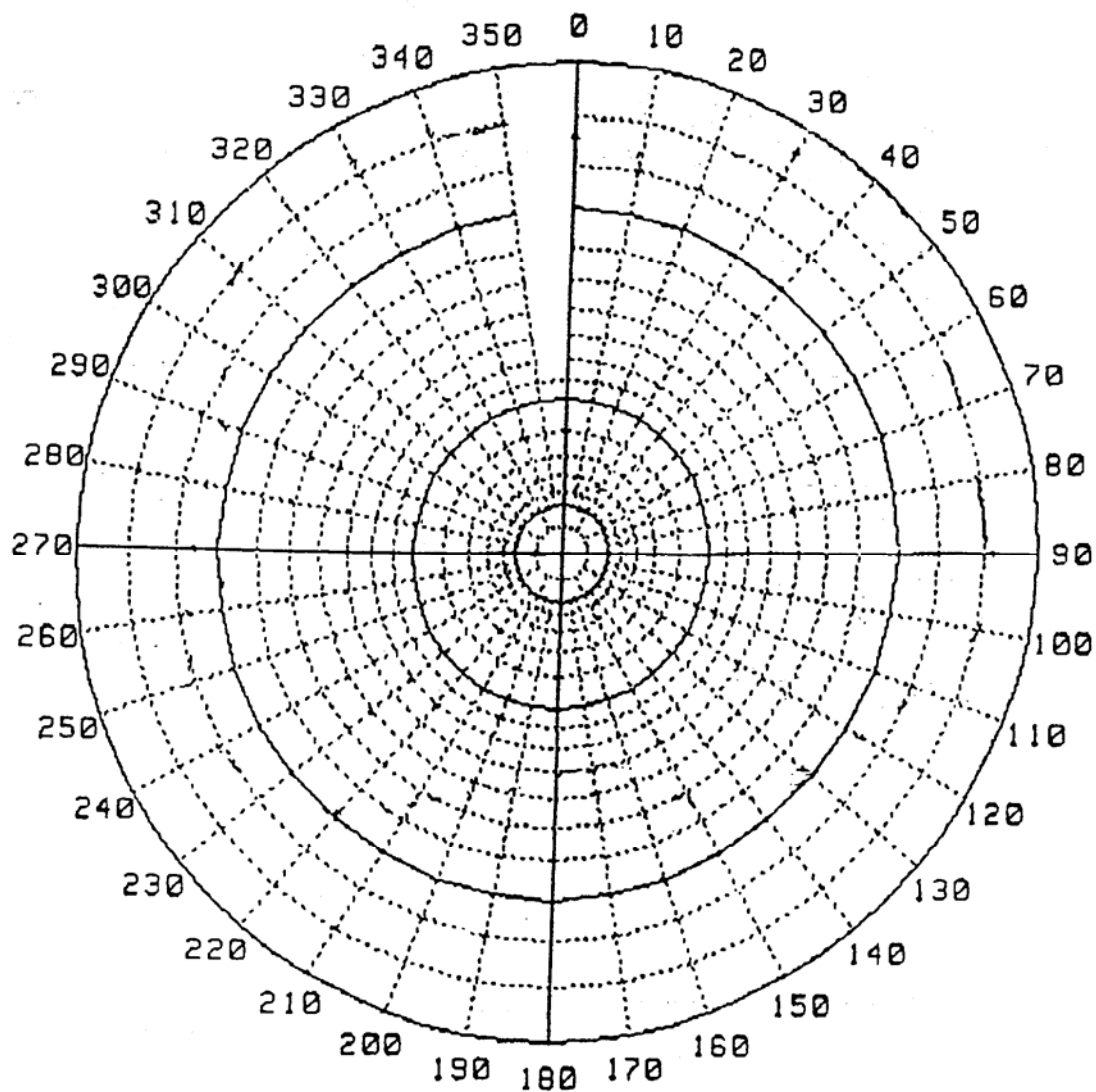
	แบบประเมินผลสัมฤทธิ์ในการเรียนสุดท้าย		
	ชื่อวิชา ระบบสายส่งและสายอากาศ		
	ชื่อหน่วย การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi		
เรื่อง/งาน การออกแบบสายอากาศแบบ Yagi			จำนวนคาบ 4
1. จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม 1.1 นักศึกษาสามารถออกแบบสายอากาศแบบ Yagi ให้มีค่า Resonance ตรงกับความถี่ใช้งาน 1.2 นักศึกษาสามารถหา Pattern ของสายอากาศแบบ Yagi ได้อย่างถูกต้อง 1.3 นักศึกษาสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และแก้ปัญหาร่วมกันได้ 2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติ 2.1 เส้นสแตนเลสขนาด 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. ลำดับขั้นตอนการปฏิบัติ Tx SWR meter Antenna 1 Antenna 2 Transmission line 3 FSM 3.1 ออกแบบสายอากาศแบบ Yagi 5E ความถี่ใช้งาน 245-246 MHz แล้วนำมาต่อตามรูป			

3.2 ใช้ SWR มิเตอร์วัดหาค่า SWR อ่านค่าจากหน้าปัดได้ :1

3.3 ปรับสายอากาศไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา(ทางขวา)ครั้งละ 10 องศาบันทึกค่าลงในตาราง
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

.....

.....

.....

.....

.....

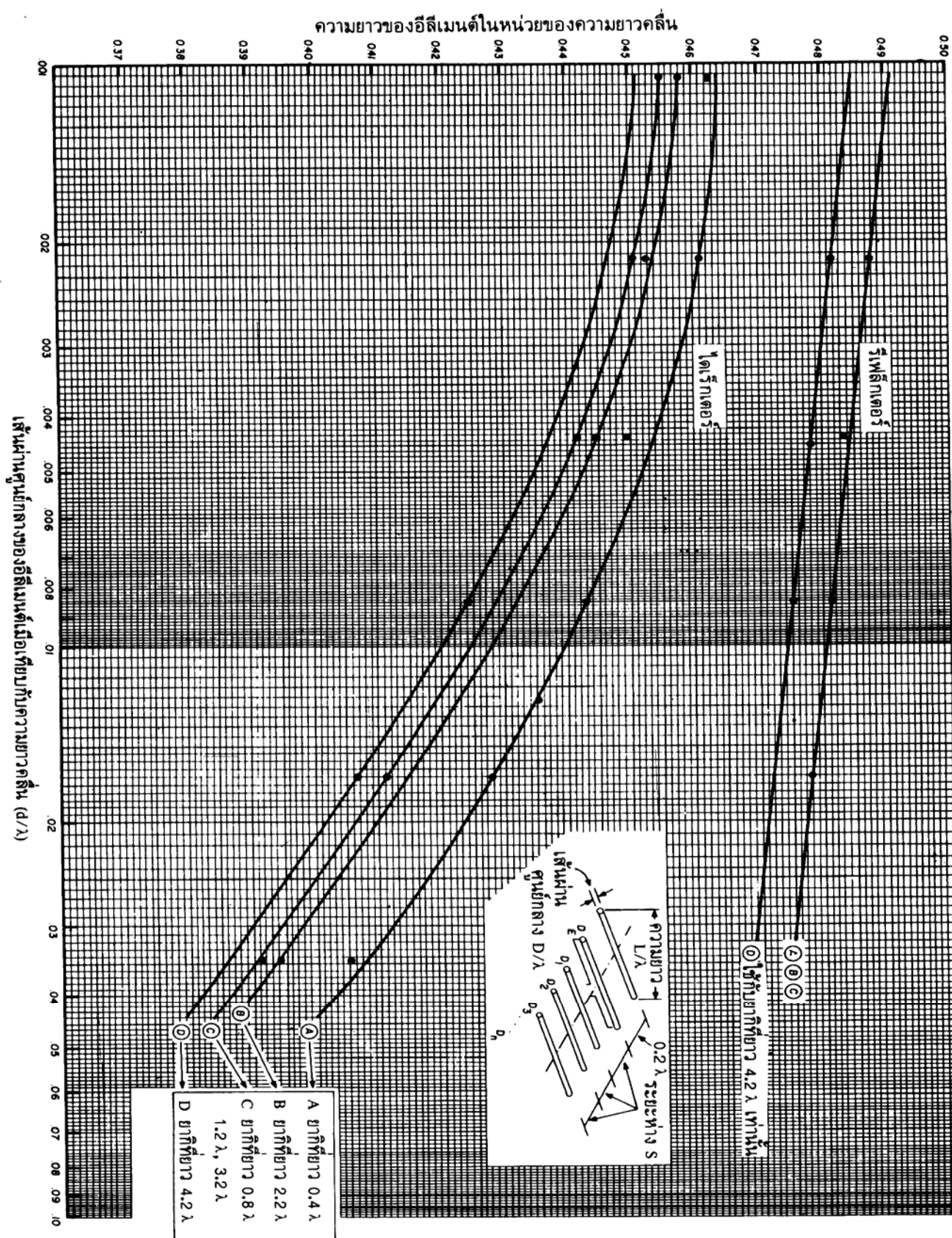
.....

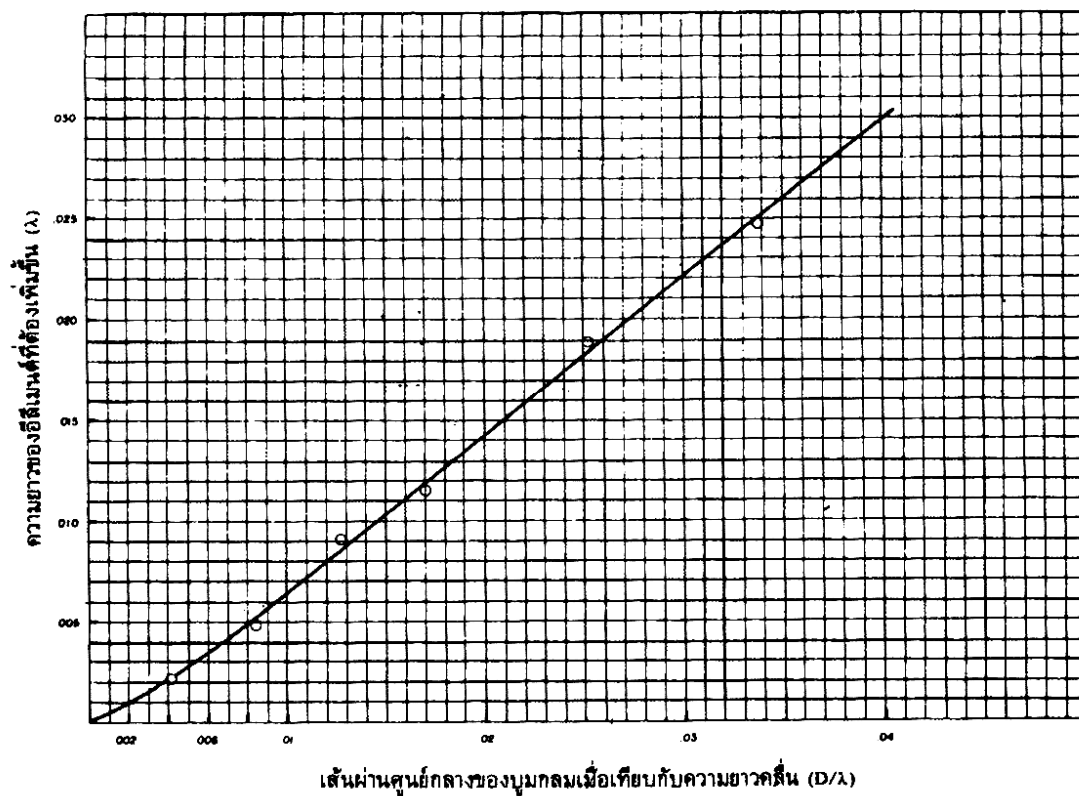
.....

[illegible]

5. สรุปผลการทดลอง (5)

[illegible]





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.

(.....)