

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI วิชาสายส่งและสายอากาศ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย ซึ่งมีหัวข้อตามลำดับ ดังต่อไปนี้

2.1 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ พุทธศักราช 2546 และแผนการสอน

2.2 สายส่งและสายอากาศแบบ YAGI

2.3 กระบวนการเรียนรู้ด้วยวิธี CIPPA MODEL

2.4 การสอนภาคปฏิบัติ

2.5 การหาประสิทธิภาพชุดทดลอง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ. 2546

และแผนการสอน

2.1.1 หลักการของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ปี 2546 มีดังนี้

2.1.1.1 เป็นหลักสูตรที่มุ่งผลิตและพัฒนาแรงงาน ระดับผู้ชำนาญการเฉพาะสาขาวิชาชีพสอดคล้องกับตลาดแรงงาน สภาพเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม สามารถเป็นหัวหน้างานหรือเป็นผู้ประกอบการได้

2.1.1.2 เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนมีสมรรถนะในการประกอบอาชีพ มีความรู้เต็มภูมิ ปฏิบัติได้จริงและเข้าใจชีวิต

2.1.1.3 เป็นหลักสูตรที่เปิดโอกาสให้ผู้ประกอบการวิชาชีพ มีส่วนร่วมในการเรียนการสอนวิชาชีพ สามารถถ่ายทอดประสบการณ์การเรียนรู้จากสถานประกอบการ และสามารถสะสมการเรียนรู้และประสบการณ์ได้

2.1.2 จุดมุ่งหมายของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ปี 2546 มีดังนี้

2.1.2.1 เพื่อให้มี ความรู้ ทักษะพื้นฐานในการดำรงชีวิต สามารถศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม หรือศึกษาต่อในระดับที่สูงขึ้น

2.1.2.2 เพื่อให้มีทักษะและสมรรถนะในงานอาชีพตามมาตรฐานวิชาชีพ

2.1.2.3 เพื่อให้สามารถบูรณาการความรู้ ทักษะจากศาสตร์ต่าง ๆ ประยุกต์ใช้ใน งานอาชีพสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี

2.1.2.4 เพื่อให้มีเจตคติที่ดีต่อวิชาชีพ มีความมั่นใจ และภาคภูมิใจในงานอาชีพ รักงาน รักองค์กร สามารถทำงานเป็นหมู่คณะได้ดี และมีความภาคภูมิใจในตนเองต่อการเรียน วิชาชีพ

2.1.2.5 เพื่อให้มีปัญญา ใฝ่รู้ ใฝ่เรียน มีความคิดสร้างสรรค์ มีความสามารถในการจัดการ การตัดสินใจและแก้ปัญหา รู้จักแสวงหาแนวทางใหม่ ๆ มาพัฒนาตนเองประยุกต์ใช้ ความรู้ในการสร้างงานให้สอดคล้องกับวิชาชีพ และการพัฒนางานอาชีพอย่างต่อเนื่อง

2.1.2.6 เพื่อให้มีบุคลิกภาพที่ดี มีคุณธรรม จริยธรรม ซื่อสัตย์ มีวินัย มี สุขภาพแข็งแรงทั้งร่างกายและจิตใจ เหมาะสมกับการปฏิบัติในอาชีพนั้น ๆ

2.1.2.7 เพื่อให้เป็นผู้มีพฤติกรรมทางสังคมที่ดีงามทั้งในการทำงาน การอยู่ร่วมกัน มีความรับผิดชอบต่อครอบครัว องค์กร ท้องถิ่นและประเทศชาติ อุทิศตนเพื่อสังคม เข้าใจ และเห็นคุณค่าของศิลปวัฒนธรรมไทย ภูมิปัญญาท้องถิ่น ตระหนักในปัญหาและความสำคัญของ สิ่งแวดล้อม

2.1.2.8 เพื่อให้ตระหนักและมีส่วนร่วมในการพัฒนา และแก้ไขปัญหาเศรษฐกิจ ของประเทศ โดยเป็นกำลังสำคัญในด้านการผลิตและให้บริการ

2.1.2.9 เพื่อให้เห็นคุณค่าและดำรงไว้ซึ่งสถาบันชาติ ศาสนา และพระมหากษัตริย์ ปฏิบัติตนในฐานะพลเมืองดีตามระบอบประชาธิปไตย อันมีพระมหากษัตริย์เป็นประมุข

2.1.3 จุดประสงค์ของหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ปี 2546

ผู้ที่สำเร็จการศึกษาหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2546 ประเภท วิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ สามารถปฏิบัติงานระดับช่างเทคนิค ผู้ควบคุมงาน ผู้ช่วยวิศวกรหรือประกอบอาชีพส่วนตัว มีความรู้ ความสามารถ เจตคติและประสบการณ์ด้านต่าง ๆดังต่อไปนี้

2.1.3.1 เพื่อให้มีความรู้และทักษะพื้นฐานเกี่ยวกับภาษา สังคม มนุษยศาสตร์ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ นำไปใช้ในการค้นคว้า พัฒนาตนเองและวิชาชีพอิเล็กทรอนิกส์ ให้เกิดความเจริญก้าวหน้า

2.1.3.2 เพื่อให้มีความรู้และทักษะในหลักการและกระบวนการทำงานพื้นฐาน ของช่างเทคนิคที่เกี่ยวกับการบริหารจัดการและการวางแผนในงานอุตสาหกรรม และสามารถ ติดตามความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี นำมาพัฒนางานอาชีพอิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิภาพ

2.1.3.3 เพื่อให้มีความคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหา สร้างสรรค์ และนำเทคโนโลยี มาใช้ในการพัฒนางานอิเล็กทรอนิกส์

2.1.3.4 เพื่อให้มีบุคลิกภาพที่ดี มีความรับผิดชอบต่อตนเอง ครอบครัวและสังคม มีคุณธรรมและมีทัศนคติที่ดีในงานอาชีพ

2.1.3.5 เพื่อให้สามารถประกอบอาชีพในสถานประกอบการอุตสาหกรรมสร้างสรรค์หรือประกอบอาชีพอิสระในสาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์

2.1.4 คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่สำคัญของสายส่งวิทยุ เช่น Z_0 , ค่า L, ค่า C, Velocity Factor, Standing Wave Ratio (SWR), Smith Chart และการประยุกต์ใช้งานรวมทั้งการออกแบบ Phasing Line การ Radiation ของสายอากาศ ลักษณะและคุณสมบัติของสายอากาศชนิดต่างๆ หลักการออกแบบสายอากาศ อุปกรณ์ประกอบสายอากาศ การวัดและการทดสอบระบบสายอากาศ รวมทั้งการติดตั้ง

2.1.5 จุดประสงค์รายวิชาสายส่งและสายอากาศ (Transmission Lines and Antennas Systems) รหัสวิชา 31052304

2.1.5.1 เพื่อให้มีความเข้าใจ คุณลักษณะสายส่งและสายอากาศในระบบโทรคมนาคม

2.1.5.2 เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานวัดและทดสอบระบบสายส่งและสายอากาศ

2.1.5.3 เพื่อให้มีทัศนคติในการทำงานด้วยความประณีต รอบคอบ มีจริยธรรมในการปฏิบัติงาน

2.1.6 มาตรฐานรายวิชา

2.1.6.1 วิเคราะห์คุณลักษณะและการนำไปใช้งานของสายส่งและสายอากาศ

2.1.6.2 ทดสอบคุณสมบัติสายส่งวิทยุ เช่น Z_0 , ค่า L, ค่า C, ค่า SWR

2.1.6.3 ออกแบบ ติดตั้ง วัดและทดสอบระบบสายส่งและสายอากาศ และ Phasing Line

2.1.6.4 ประยุกต์ใช้งานสายส่งและสายอากาศโดยคำนึงถึงการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศและการใช้อุปกรณ์ประกอบ

2.1.7 แผนการสอน

ตารางที่ 2.1 แผนการสอน รหัสวิชา 31052304 ชื่อวิชา สายส่งและสายอากาศ

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

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

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

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

2.2 สายส่งและสายอากาศแบบ YAGI

2.2.1 ชนิดของสายอากาศโทรทัศน

สายอากาศของเครื่องรับโทรทัศนเป็นตัวรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสัญญาณโทรทัศนที่ส่งมาจากสถานีส่ง แล้วเปลี่ยนให้เป็นคลื่นไฟฟ้าความถี่สูงส่งเข้าไปในจูนเนอร์ของเครื่องรับโทรทัศน

ในปัจจุบันสายอากาศที่ใช้ทั่วไป จะทำจากอะลูมิเนียม เพราะมีน้ำหนักเบาและนำสัญญาณได้ดี ซึ่งมี 2 แบบคือ สายอากาศภายในกับสายอากาศที่อยู่ภายนอกบ้าน

สายอากาศภายในนิยมเรียกว่า สายอากาศหนวดกุ้งหรือสายอากาศหูกกระต่าย อาจจะทำได้ไว้กับตัวเครื่องรับโทรทัศน์หรือแยกต่างหากวางไว้ใกล้ ๆ หรือบนเครื่องรับโทรทัศน์ก็ได้ สายอากาศแบบหนวดกุ้งอาจจะมี 1 อัน หรือ 2 อัน เหมาะกับบริเวณที่มีสัญญาณโทรทัศน์แรง ๆ การใช้ก็เพียงแค่ชักสายขึ้นมาแล้วเอียงหามุมและทิศทางที่ภาพชัด การหดยาวให้สั้นหรือดึงออกให้ยาวรวมกับมุมที่สายอากาศมีผลต่อการรับช่องต่าง ๆ ไม่เท่ากัน เช่น ถ้าช่องโลว์แบนด์ (2-3-4) จะต้องดึงสายออกให้ยาวและมุมกว้าง ส่วนช่องไฮแบนด์ (ช่อง 5 ถึง 12) สายต้องหดให้สั้นหรือมุมแคบจึงจะรับได้ดี

สายอากาศที่อยู่ภายนอกบ้านจะทำเป็นแผงรับสัญญาณแบบต่างๆ เช่น แบบไดโพล แบบยาก็ไดโพล แบบลูปก็ไดโพล แบบวงกลม เป็นต้น แต่แบบที่มีประสิทธิภาพสูงและนิยมมากที่สุดคือ แบบยาก็

แผงรับสัญญาณแบบยาก็ใช้กับเครื่องรับโทรทัศน์แบ่งเป็น 2 ย่านความถี่คือ แผงรับสัญญาณย่าน VHF กับแผงรับสัญญาณย่าน UHF ซึ่งถ้าจะแบ่งย่อยลงไปอีกก็ได้ เช่น

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

2.2.1.2 แผงรับสัญญาณ VHF รวมช่อง ใช้รับสัญญาณได้ทั้งไฮแบนด์และโลว์แบนด์ครอบคลุมความถี่โทรทัศน์ตั้งแต่ช่อง 2 ถึงช่อง 12 ประหยัดค่าใช้จ่ายเพราะติดตั้งแผงรับอันเดียวสามารถรับได้ทุกช่อง เหมาะกับบริเวณที่มีสัญญาณโทรทัศน์ทุกช่องมาในทิศทางเดียวกัน

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

2.2.1.4 แผงรับสัญญาณ VHF ไฮแบนด์ ใช้สำหรับรับสัญญาณโทรทัศน์ช่อง 5 ถึงช่อง 12 มีจำนวนส่วนประกอบต่างๆ กันตั้งแต่ 2 ชั้นจนถึง 29 ชั้น

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

2.2.2 สายอากาศแบบไดโพล

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



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

รูปที่ 2.1 แสดงสายอากาศไดโพล

ลักษณะของตัวนำไดโพลจะมีผลต่อคลื่นไฟฟ้าโดยมีลักษณะเป็นวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม LC สัญญาณความถี่ที่จะไหลในไดโพลได้มากที่สุดคือ ความถี่รีโซแนนซ์ จากการทดลองค่าความยาวของไดโพลที่ได้ผลดีและประหยัดคือ ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ในการรับสัญญาณนั้น ไดโพลจะรับสัญญาณในทิศทางตั้งฉากกับไดโพลทั้ง 2 ทางได้แรง นั่นก็คือ คลื่นโทรทัศน์ที่แพร่กระจายมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะเดินทางมาตัดกับไดโพลแล้วเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในไดโพลประมาณ $5 - 50 \mu V$ สัญญาณจะต้องส่งเข้าสายนำสัญญาณไปเข้าเครื่องรับโทรทัศน์ต่อไป

2.2.3 แผงรับสัญญาณแบบยาคีไดโพล

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

แผงรับสัญญาณจะถูกเรียกขนาดแบบที่สอดคล้องตามจำนวนส่วนประกอบ เช่น แบบ 2E จะมี 2 ชั้นคือ ไดโพลกับรีเฟลกเตอร์ แบบ 3E จะมี 3 ชั้นคือ เพิ่มไดเรกเตอร์อีก 1 ชั้น แผงรับสัญญาณแบบอัตรการขยายสูงที่ใช้ในต่างจังหวัดจะยาวมาก เช่น ขนาด 15E หรือ 29E เป็นต้น

อัตรการขยายของแผงรับสัญญาณที่ความถี่หนึ่งจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่อไปนี้

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. ความยาวของตัวชี้นำให้สั้นกว่าไดโพล 5 เปอร์เซ็นต์ อันต่อไปสั้นลงอันละ 1 เปอร์เซ็นต์
4. ระยะห่างระหว่างส่วนประกอบ

$$E1 - E2 = 0.2 \lambda$$

$$E2 - E3 = 0.15 \lambda$$

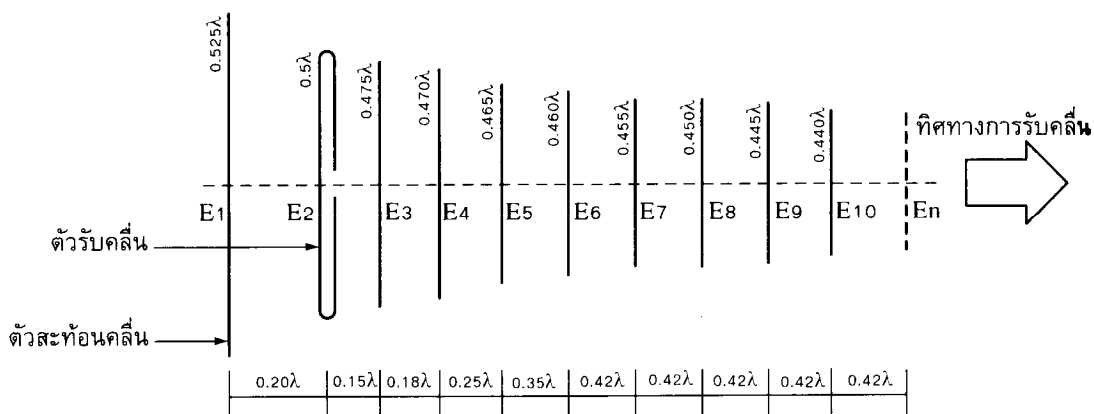
$$E3 - E4 = 0.18 \lambda$$

$$E4 - E5 = 0.25 \lambda$$

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

$$E \text{ ต่อๆ ไป} = 0.42 \lambda$$

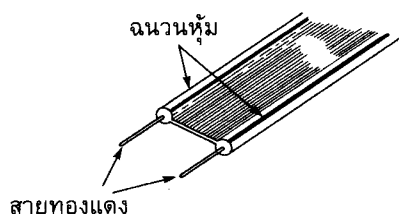
ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังรับสัญญาณโทรทัศน์แบบอัตรายายสูง

2.2.4 สายนำสัญญาณ

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



(ก) สายแบนริบบอน 300 โอห์ม



(ข) สายกลมโคแอ็กเซียล 75 โอห์ม

รูปที่ 2.3 แสดงสายนำสัญญาณ

สายนำสัญญาณชนิดกลมโคแอ็กเซียล มีลักษณะโครงสร้างเป็นสายชีลด์มีทองแดงตัวนำสัญญาณอยู่ภายในคั่นด้วยฉนวนมีสายทองแดงอีกเป็นดาข่ายหุ้มเป็นชีลด์เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนต่างๆ แล้วหุ้มด้วยฉนวนภายนอกอีกชั้นหนึ่ง ในภาวะปกติจะมีการสูญเสียในสายมากกว่า สายริบบอน สายแบบนี้ราคาแพงกว่าแบบริบบอนและขึ้นอยู่กับขนาด เพราะท้องตลาดผลิตออกมาหลายขนาด แบบเส้นโตจะมีราคาแพงและนำสัญญาณได้ดีกว่า รวมทั้งเกิดการสูญเสียน้อย

2.2.5 ตัวปรับอิมพีแดนซ์สายอากาศ

การเชื่อมโยงสัญญาณจากแผนผังรับสัญญาณโทรทัศน์ไปตามสายนำสัญญาณเพื่อเข้าถึงจูนเนอร์นั้น อุปกรณ์ทุกชิ้นควรจะต้องมีอิมพีแดนซ์เท่ากัน จึงจะทำให้การส่งสัญญาณมีประสิทธิภาพ

สูงสุด กรณีที่ตัวสายอากาศไดโพล สายนำสัญญาณและจูนเนอร์เครื่องรับโทรทัศน์มีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน จะต้องใช้ตัวปรับอิมพีแดนซ์หรือที่นิยมเรียกว่า ตัวแมทซ์ซึ่งเป็นตัวช่วย การที่อุปกรณ์มีอิมพีแดนซ์ไม่เท่ากันก็อาจจะเรียกว่ามันไม่แมทซ์กัน ดังนั้น ตัวแมทซ์ซึ่งจึงมีหน้าที่ทำให้อิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ต่างๆ เข้ากันได้พอดีเพื่อการส่งกำลังงานได้สูงสุด

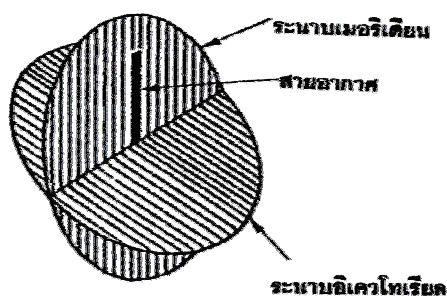
เครื่องรับโทรทัศน์จะมีที่ต่อสายสัญญาณเข้า 75 โอห์ม หรือ 300 โอห์ม บางเครื่องจะสามารถเลือกต่อเข้าได้ทั้ง 75 โอห์มและ 300 โอห์ม ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงแผงรับสัญญาณและการต่อสายนำสัญญาณ

กรณีใช้สายนำสัญญาณแบบribbonที่มีอิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม ด้านบนที่ต่อกับแผงรับสัญญาณโทรทัศน์สามารถต่อเข้ากับไดโพลได้โดยตรงเพราะอิมพีแดนซ์ 300 โอห์มเท่ากันพอดี ส่วนปลายทางสายด้านล่างนั้น ถ้าเครื่องรับโทรทัศน์มีขั้วต่อสัญญาณเข้าเป็น 300 โอห์มก็สามารถต่อเข้าโดยตรง แต่ถ้าเครื่องรับโทรทัศน์มีขั้วต่อสัญญาณเข้าเป็น 75 โอห์ม ต้องใช้หม้อแปลงแมทซ์ซึ่งจาก 300 โอห์มเป็น 75 โอห์ม ต่อจากสายนำสัญญาณ 300 โอห์มแปลงเป็น 75 โอห์ม ก่อนเข้าเครื่องรับโทรทัศน์

2.2.6 คุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงาน (RADIATION PATTERN)

สายอากาศทุกแบบจะมีคุณสมบัติในการแพร่กระจายพลังงานไปได้มากในบางทิศทาง (เมื่อเทียบกับทิศทางรอบสายอากาศ) คุณสมบัติเช่นนี้เรียกว่า ไดเรกทิวิตี จัดว่าสำคัญมากสำหรับการส่งสัญญาณไปยังทิศทางที่ต้องการให้มีขนาดมากกว่าทิศทางที่ไม่ต้องการ ไดเรกทิวิตีของสายอากาศแสดงโดยใช้รูปแบบการแพร่คลื่น (RADIATION PATTERN)

รูปแบบการแพร่คลื่นของสายอากาศ เป็นรูปกราฟที่แสดงความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศตามระยะทางที่ห่างออกไปรอบตัว และเนื่องจากการแพร่คลื่นไปทุกทิศทางรอบตัวจึงต้องกำหนดระนาบในการพิจารณารูปแบบคลื่น โดยตกลงกันให้มีใช้อยู่ 2 ระนาบ ดังรูปที่ 2.4



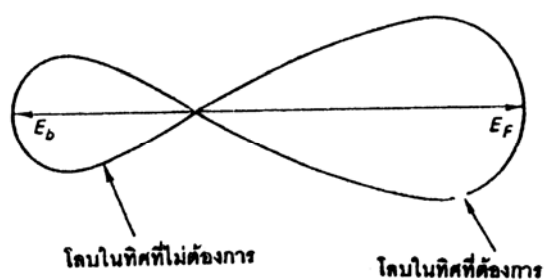
รูปที่ 2.4 แสดงระนาบเมริเดียนและอีควาโทเรียลของสายอากาศ

ระนาบเมริเดียน คือ ระนาบตามแนวแกน ของสายอากาศระนาบอีควาโทเรียล คือ ระนาบตั้งฉากกับแนวสายอากาศ ยกตัวอย่าง เช่น สายอากาศชนิดแนวตั้ง (VERTICAL) อธิบายได้ว่า ระนาบเมริเดียนมีทิศตั้งฉากกับพื้นโลก และระนาบอีควาโทเรียลมีทิศแนวนอน รูปแบบ

การแพร่คลื่นสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพของสายอากาศได้ดี โดยต้องเป็นในสภาพที่ติดตั้งห่างจากวัตถุต่าง ๆ เช่น ดึก อาคาร หรือพื้นดินที่อาจทำให้เกิดคลื่นสะท้อนขึ้นและมีผลต่อรูปแบบได้

2.2.7 อัตราส่วนฟรอนต์ทูแบค (FRONT TO BACK RATIO)

รูปแบบการแพร่คลื่นส่วนใหญ่แล้วจะมีไดเรกทิวิตีไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าทิศอื่น ดังนั้น อัตราส่วนฟรอนต์ทูแบคของสายอากาศ คือ อัตราส่วนของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายอากาศโดยคิดจากทิศที่ต้องการกับทิศที่ไม่ต้องการ (ตรงกันข้าม) ดังรูปที่ 2.5

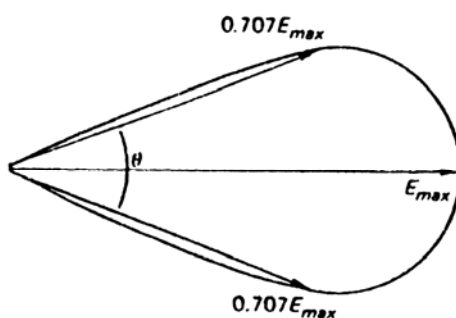


รูปที่ 2.5 แสดงอัตราส่วนฟรอนต์ทูแบคของสายอากาศ

2.2.8 บีมวิทท์ (BEAMWIDTH)

จัดเป็นการวัดความกว้างของลำคลื่น เพื่ออธิบายถึงไดเรกทิวิตีของสายอากาศได้ดี โดยกำหนดให้มีหน่วยเป็นมุมที่คิดจากกรณีดังนี้ (มีความหมายเหมือนกันทุกกรณี) ดังรูปที่ 2.6

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



รูปที่ 2.6 แสดงบีมวิทท์ของสายอากาศ

2.2.9 อัตราขยายของสายอากาศ

ค่านี้ไม่ใช่ค่าอัตราส่วนระหว่างพลังงานเอาต์พุตต่อด้านอินพุต แต่เป็นอัตราขยายของสายอากาศที่ใช้วัดคุณสมบัติไดเรกทิวิตี และสามารถระบุถึงปริมาณของการแพร่คลื่นมีมากใน

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

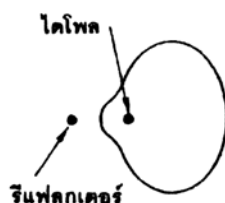
การใช้สายอากาศอ้างอิงมักเป็นไดโพลขนาด $\lambda/2$ หรือ แบบไอโซทรอปิก ซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ กระจายคลื่นได้รอบตัวทุกทิศในปริมาณเท่ากัน (ในความเป็นจริงเราไม่สามารถสร้างสายอากาศไอโซทรอปิกได้ มีใช้เฉพาะเป็นหลักการงานสายอากาศเท่านั้น) มีการทดลองจนได้ผลสรุปว่าอัตราขยายของสายอากาศไดโพลขนาด $\lambda/2$ เทียบค่ากับสายอากาศไอโซทรอปิกได้มากกว่าอยู่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

2.2.10 สายอากาศแบบยาถิ (YAGI ANTENNA)

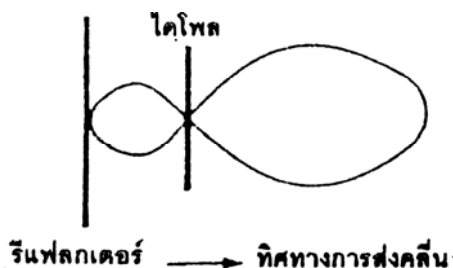
เราสร้างสายอากาศยาถิจากไดโพลแบบ $\lambda/2$ และพาราซิติคอีลีเมนต์ โดยการอธิบายความหมายของพาราซิติคอีลีเมนต์คือ ส่วนของสายอากาศที่ไม่ได้ต่อโดยตรงกับสายนำสัญญาณจากเครื่องรับหรือเครื่องส่ง แต่สามารถเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสหรือแรงดันบนตัวเองได้ และสายอากาศที่นำมาใช้งานร่วมกับตัวพาราซิติค เรียกว่า พาราซิติคอาร์เรย์

รีเฟลกเตอร์มีผลต่อรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพลแบบ $\lambda/2$ เนื่องจากมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าถูกเหนี่ยวนำที่มันมีผลให้ตัวรีเฟลกเตอร์สามารถแพร่คลื่นเองได้ตัวแปรที่มีผลต่อรูปแบบการแพร่คลื่นมี

1. ความยาวของรีเฟลกเตอร์
 2. ระยะห่างจากไดโพล
- ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8 ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$ และรีเฟลกเตอร์ในระนาบแนวราบ

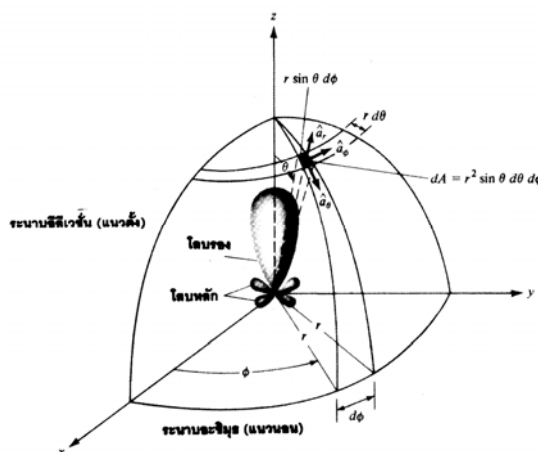


รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบการแพร่คลื่นของไดโพล $\lambda/2$ และรีเฟลคเตอร์ในระนาบแนวตั้ง

จากทั้งสองรูปเห็นได้ชัดว่า ไดเรกทีวิตีของอาร์เรย์แบบนี้ดีกว่าไดโพลอย่างเดียว เหตุที่รีเฟลคเตอร์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงนี้อธิบายได้ว่าเมื่อเราป้อนแรงดันไฟฟ้า (ที่ความถี่เรโซแนนซ์) และกระแสให้กับไดโพลจะมีการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปทุกทิศในแนวตั้งฉากกับไดโพล พลังงานบางส่วนเดินทางมารีเฟลคเตอร์ และเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดขึ้นซึ่งมีเฟสตาม แหล่งแรงดันไฟฟ้า ส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่โดยคิดจากระยะห่างของอีลีเมนต์ เช่น ถ้าระยะห่างเท่ากับ 0.15λ ทำให้ค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่รีเฟลคเตอร์มีเฟสตามหลังส่วนที่ป้อนให้ไดโพลอยู่ 180° สิ่งนี้มีผลต่อกระแสในทำนองเดียวกัน

2.2.11 รูปแบบการแพร่คลื่น

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

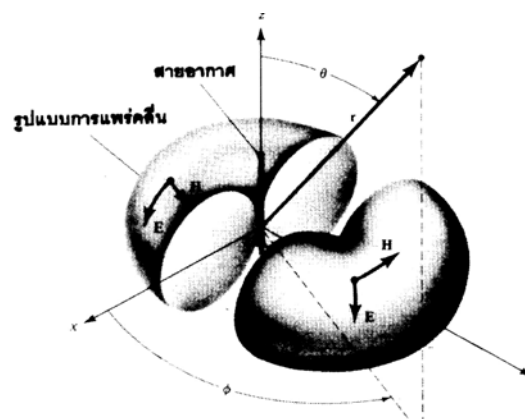


รูปที่ 2.9 แสดงแกนโคออดิเนตในการวิเคราะห์สายอากาศ

2.2.12 รูปแบบไอโซทรอปิก, ไดเรกชันแนล และอิมิไดเรกชันแนล

ไอโซทรอปิก คือสายอากาศในทางทฤษฎีที่สามารถแพร่คลื่นในทุกทิศทางด้วยความเข้มสนามเท่ากัน

ไดเรกชันแนล คือคุณสมบัติในการแพร่คลื่นหรือรับคลื่นในทิศทางใดทิศทางหนึ่งได้ดีกว่าทิศทางอื่น ยกตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเรกชันแนลได้ ดังรูปที่ 2.10

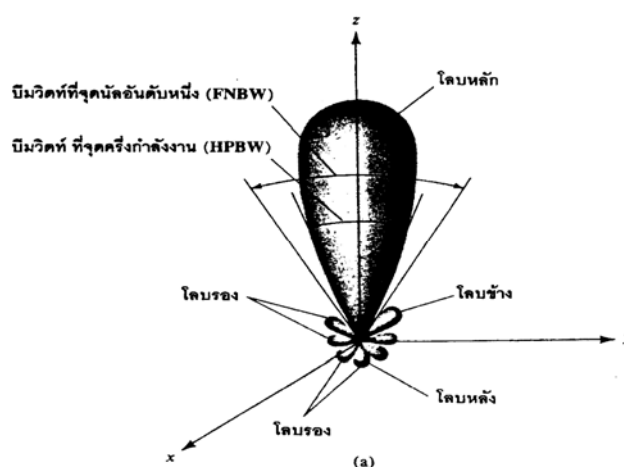


รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างของสายอากาศแบบไดเรกชันแนล

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

2.2.13 ส่วนต่างๆ ในรูปแบบการแพร่คลื่น

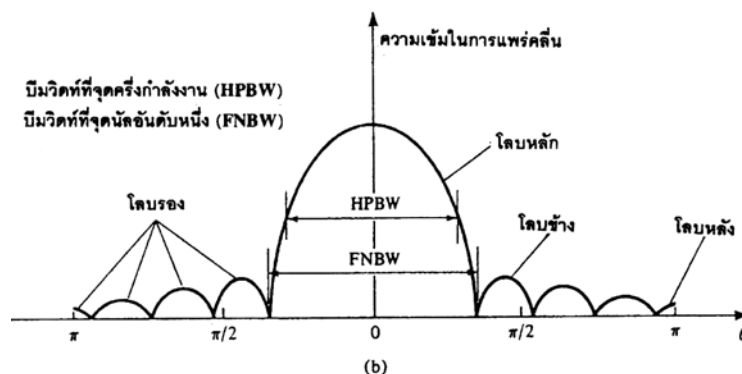
แต่ละส่วนของรูปแบบการแพร่คลื่นเรียกว่า โลบ ซึ่งยังแบ่งย่อยเป็น โลบหลัก, โลบรอง, โลบข้าง และโlobหลังอีกด้วย ดังรูปที่ 2.11



(a) แสดงโlobและบีมวิคท์ (แบบ 3 มิติ)

(b) แสดงระดับกำลังคลื่น และโlobต่างๆ (แบบ 2 มิติ)

รูปที่ 2.11 แสดงส่วนต่างๆ ของรูปแบบการแพร่คลื่น



รูปที่ 2.11 (ต่อ)

อธิบายจากรูปได้ว่า ความหมายของโลบ คือ ส่วนของรูปแบบการแพร่คลื่นที่มีความเข้มของกำลังคลื่นสูง (รอบๆ เป็นความเข้มต่ำ)

ในรูปที่ 2.11 (a) เป็นการเขียนรูปบนแกนโพลาร์ 3 มิติ ที่มีโลบอยู่หลายขนาด ส่วนรูปที่ 2.11 (b) เป็นการเขียนในลักษณะแกน 2 มิติ

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

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

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

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

โดยทั่วไปถ้าระดับของโลบข้างมีค่าประมาณ -20 dB หรือน้อยกว่านี้จะไม่มีการรบกวนการใช้งานมากนักจุดที่รับสัญญาณได้เท่ากับศูนย์ (ถึงแม้จะรีไซเคิลกับความถี่ในการส่ง) เรียกว่า นัล

2.2.14 กำลังส่งประสิทธิผล (EFFECTIVE RADIATION POWER)

ในทางทฤษฎีสายอากาศไอโซทรอปิก มีคุณสมบัติแพร่กระจายพลังงานได้ทุกทิศรอบตัว และมีขนาดความเข้มสนามเท่ากันหมดตามระยะทางรอบสายอากาศ ส่วนสายอากาศที่ใช้จริงทุกชนิดจะไม่มีคุณสมบัติเช่นนี้อยู่ โดยมีการอัดคลื่นวิทยุไปในทิศใดทิศหนึ่งเท่านั้น

ดังนั้น สรุปได้ว่า สายอากาศที่ใช้งานจริงต้องการกำลังที่ป้อนให้สายอากาศน้อยกว่าแบบไอโซทรอปิก ในการสร้างความเข้มสนามค่าเท่ากัน ณ จุดเดียวกัน ตามทิศทางที่มีการแพร่คลื่นมากที่สุด

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

ในการคำนวณ ERP ของสายอากาศคิดจากกำลังส่งทั้งหมดที่ถูกส่งให้สายอากาศ (P_1) คูณกับอัตราขยายของสายอากาศ (G) ได้สูตรว่า

$$ERP = P_1 G$$

แถบความถี่ (BANDWIDTH)

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

2.2.15 ความต้านทานการแพร่คลื่นและประสิทธิภาพสายอากาศ

กำหนดค่าพลังงานที่แพร่จากสายอากาศมีสูตร

$$P = I^2 R_r$$

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

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

2.2.16 การแก้ปัญหาเพิ่มประสิทธิภาพของสายอากาศ

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

ความต้านทาน หรือรีแอ็กแตนซ์ต่อสายนำสัญญาณ นั่นคือ สายนำสัญญาณชนิดใดๆ สามารถนำมาใช้ร่วมกับสายอากาศแบบใดก็ได้ถ้ามีวิธีแมทช์ระหว่างกันที่ถูกต้อง

2.2.17 ช่วงความถี่และอัตราส่วน SWR

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

2.2.18 การสูญเสีย (LOSSES)

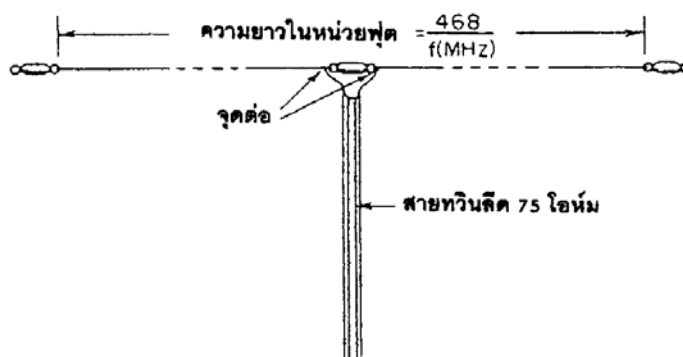
เหตุสำคัญในการแมทช์อิมพีแดนซ์ เพื่อให้ได้ระดับของคลื่นในสายเป็นเส้นตรง เพราะจะมีค่าการสูญเสียกำลังต่ำสุด โดยทั่วไปเรามักจะลดค่าการสูญเสียลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้น และค่า SWR จะมีผลเกี่ยวข้องอย่างมาก แต่ถ้านำมาพิจารณาที่ย่านความถี่ต่ำจะมีการสูญเสียน้อยถึงแม้ความยาวของสายจะเพิ่มขึ้น

2.2.19 จิตจำกัดของกำลังคลื่น

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

2.2.20 การแมทช์สายนำสัญญาณ

การใช้งานสายนำสัญญาณที่ค่าอัตราส่วน SWR ต่ำต้องใช้โหลดที่แมทช์กับอิมพีแดนซ์ประจำสายให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด

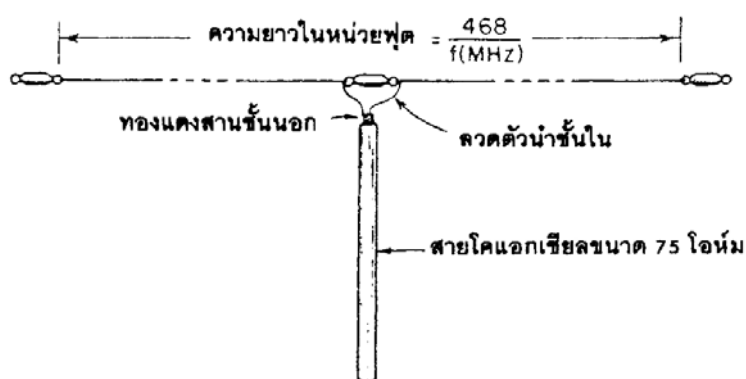


รูปที่ 2.12 แสดงการต่อไดโพลแบบ $\frac{1}{2} \lambda$ กับสายทวินลีด 75 โอห์ม

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

2.2.21 กรณีใช้สายโคแอกเซียล

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



รูปที่ 2.13 แสดงการต่อสายอากาศแบบ $\frac{1}{2} \lambda$ กับสายโคแอกเซียลขนาด 75 โอห์ม

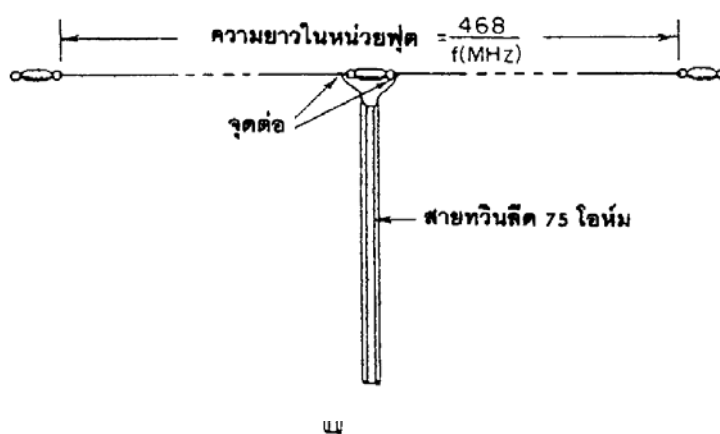
บางครั้งอาจใช้สายโคแอกเซียลที่มีอิมพีแดนซ์ประมาณ 52 โอห์มได้ เช่น ชนิด RG 58 เมื่อความสูงของสายอากาศต่ำกว่า $\frac{1}{2} \lambda$ เพราะมีผลลดค่าความต้านทานการแพร่คลื่นของสายอากาศลง

2.2.22 การแมทช์โดยตรง

การรีโซแนนซ์สายอากาศจุดที่ควรให้ความสนใจในการแมทช์สายอากาศ กับสายนำสัญญาณ คือ อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อต้องเป็นความต้านทานอย่างเดียวนั้น หมายความว่า ระบบสายอากาศจะรีโซแนนซ์ที่ความถี่ในกรณีสายแมทช์แล้ว

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

สำหรับหลักการเกี่ยวข้องกับค่า SWR กับสายนำสัญญาณแบบโคแอกเซียล เหมือนกับแบบทวินลิต แต่ส่วนที่แตกต่างกันระหว่างทั้งสองกรณี คือ สายแบบทวินลิตเป็นสายที่มีความสมดุลทางไฟฟ้าอยู่ ส่วนสายโคแอกเซียลไม่สมดุลทางไฟฟ้า กล่าวอย่างละเอียด คือ ในกรณีต่อกับสายโคแอกเซียลด้านนอกของตัวนำชั้นนอกไม่ได้ต่อกับสายอากาศผิวด้านใน และด้านในของตัวนำชั้นนอกที่ต่อโดยตรงอยู่มีผลลัพท์กระแสนบางส่วนไหลบนด้านนอกนี้ เป็นการสูญเสียอย่างหนึ่ง ถ้าเส้นผ่าศูนย์กลางของสายนำสัญญาณมีขนาดเล็กมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของสายอากาศ และใช้ในย่านความถี่วิทยุสมัครเล่นช่วงความถี่ต่ำแล้ว ผลจากความไม่สมดุลทางไฟฟ้านี้สามารถละทิ้งไม่คิดได้ เพราะมีขนาดน้อยมาก แต่ในย่านความถี่ VHF และ UHF จะมีผลอย่างมาก พิจารณารูปที่ 2.14

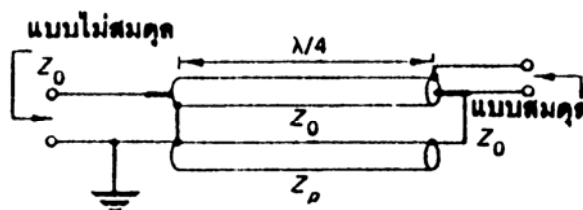


รูปที่ 2.14 แสดงการต่อสายนำสัญญาณกับสายอากาศโดยตรง

2.2.23 บาลัน (BALUN)

ในย่านความถี่สูง วิธีต่อโดยตรงระหว่างสายที่มีความสมดุล (ทางไฟฟ้า) กับสายที่ไม่มีความสมดุล มีผลทำให้เกิดสูญเสียพลังงานที่แพร่ออกมา หรือเกิดการแทรกจากสัญญาณรบกวนภายนอก ได้บาลันจัดเป็นวงจรที่ใช้เชื่อมต่อสายแบบสมดุลกับแบบไม่สมดุล โดยไม่มีผลกระทบใดๆ

สำหรับย่านความถี่คลื่นวิทยุ ถ้าใช้กำลังไฟฟ้าจนถึง 5 kW หรือความถี่จนถึง 30 MHz จะใช้บาลันได้ พิจารณารูปที่ 2.15

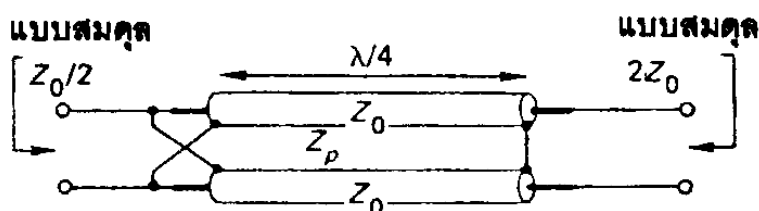


รูปที่ 2.15 แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 1 : 1

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

ส่วนปลายบาลันด้านสมดุล ตัวนำเส้นหนึ่งต่อกับชั้นนอกของโคแอกเซียลและอีกเส้นต่อกับชั้นในของโคแอกเซียลรวมถึงตัวนำแท่งกลมด้วย (ไม่มีการต่อกราวด์ในด้านนี้)

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



รูปที่ 2.16 แสดงบาลันแบบอัตราส่วนอิมพีแดนซ์ 4 : 1

จากรูปเราใช้สายโคแอกเซียล 2 เส้นโดยด้านซ้ายมือมีการต่อตัวนำกับด้านนอกของสายโคแอกเซียลในลักษณะขนานกัน และด้านขวามือมีการต่อตัวนำกับด้านนอกของสายโคแอกเซียลในลักษณะอนุกรมกัน ถ้าค่าอิมพีแดนซ์ประจำสายของแต่ละเส้นมีค่าเท่ากัน คือ Z_0 โอห์ม จะได้ค่าอิมพีแดนซ์ที่คร่อมจุดต่อด้านขวามือเท่ากับ $2 Z_0$ โอห์มและค่าอิมพีแดนซ์ที่คร่อมจุดต่อด้านซ้ายมือเท่ากับ $Z_0/2$ โอห์ม ตัวอย่างเช่น ขนาด 300 โอห์ม สามารถปรับให้เหลือ 75 โอห์มได้

2.2.24 การแมทช์โดยใช้สายนำสัญญาณยาว $\lambda/4$

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

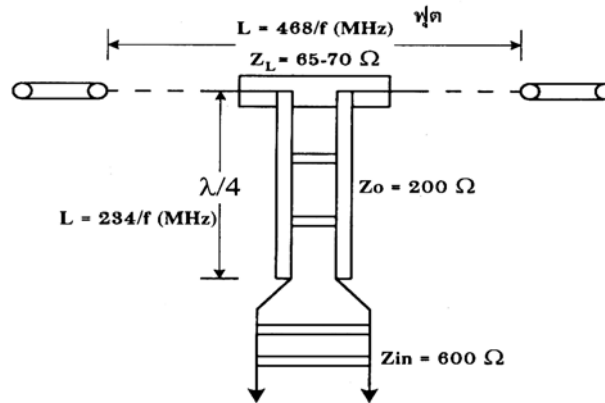
$$Z_{in} = Z_0^2 / Z_L \quad \text{โอห์ม}$$

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 การแมตช์สายนำสัญญาณกับโหลดที่มีค่าไม่เท่ากับ Z_0 พิจารณาตัวอย่างในรูปที่ 2.17

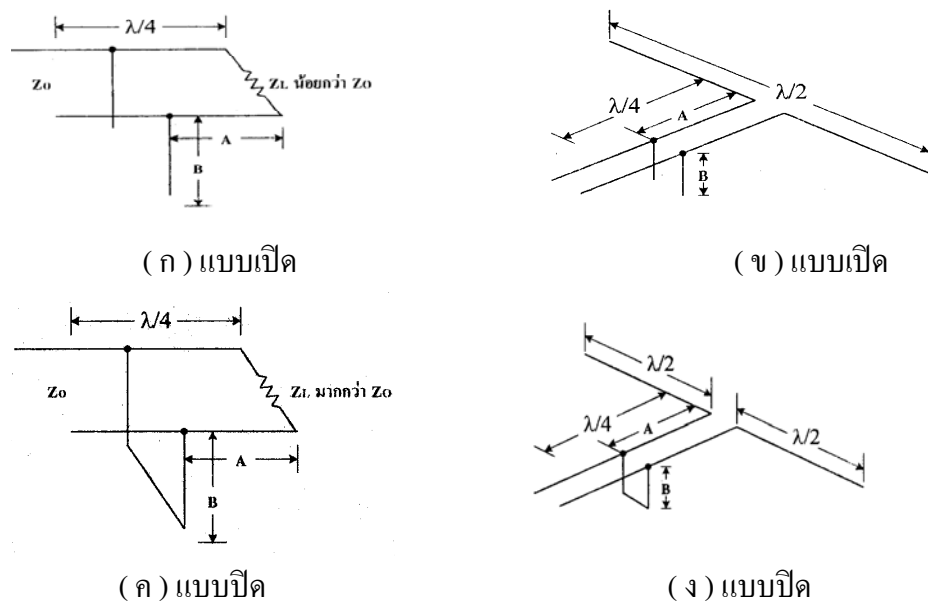


รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างการใช้สายยาว $\lambda/4$

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

2.2.25 การแมตช์โดยวิธีสตับ

มีการแมตช์สายอีกวิธี เรียกว่า สตับ พิจารณาจากรูปที่ 2.18

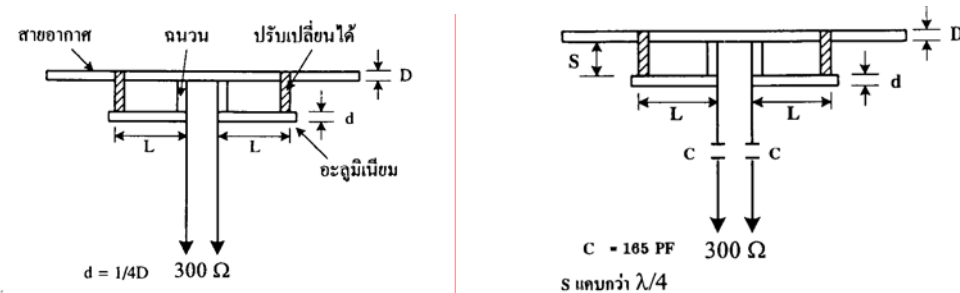


รูปที่ 2.18 แสดงการต่อสตับเบื้องต้นของสายอากาศ

พิจารณาสายขนาด $\lambda/4$ พบว่าปลายด้านซ้ายมีอัตราส่วนจลจอยู่ และปลายด้านขวามีต่อ กับโหลดขนาด Z_L ค่าอิมพีแดนซ์บนสาย $\lambda/4$ จะเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างจากโหลด ซึ่งมี ค่าตั้งแต่ Z_L ถึงศูนย์และ ∞ จุดหนึ่งจะมีค่าเท่ากับอิมพีแดนซ์ประจำสายของสายนำสัญญาณหลัก ถ้ามีการต่อสายนำสัญญาณเข้าที่ ∞ จุดนี้ ถือว่าการแมทช์เกิดขึ้น พอมองเห็นได้ว่า สายสลับ คือ ส่วนความยาวของสายด้านที่ลัดวงจรและค่าความยาวนี้มีผลต่ออินพุทรีแอ็กแดนซ์ด้วย โดยถ้าความยาว ทางไฟฟ้าของสลับน้อยกว่าขนาด $\lambda/4$ ทำให้อินพุทรีแอ็กแดนซ์เป็นค่าความเหนี่ยวนำ (INDUCTIVE) หรือความยาวทางไฟฟ้าของสลับมากกว่าขนาด $\lambda/4$ ทำให้อินพุทรีแอ็กแดนซ์เป็นค่าประจุไฟฟ้า (CAPACITIVE)

2.2.26 วิธีแมทช์รูปตัวที (T)

แสดงการแมทช์แบบตัวทีดังรูปที่ 2.19

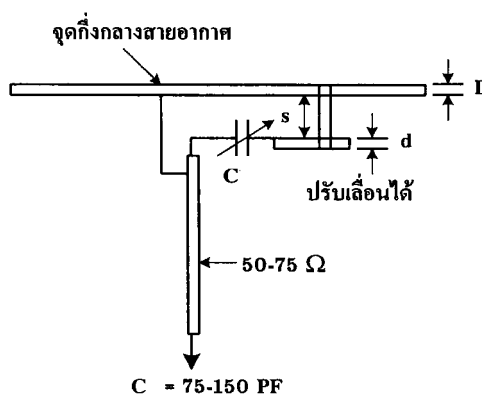


รูปที่ 2.19 แสดงการแมทช์โดยวิธีรูปตัวที (ใช้กับสายอากาศแบบ $\lambda/2$ และสายนำสัญญาณ ขนาด 600 โอห์ม)

จากรูปมีส่วนคล้ายกับไดโพลแบบห้วง(FOLDED DIPOLE)เพราะถ้าเราเพิ่มความยาวของ L ให้เท่ากับสายอากาศก็เป็นไดโพลแบบห้วง ได้วิธีแมทช์รูปตัวทีที่จัดว่ามีความยืดหยุ่นในการปรับค่า อัตราส่วนอิมพีแดนซ์ได้ดี และง่ายต่อการสร้างด้วย เหมาะที่ใช้กับสายแบบเส้นคู่หรือทวินลีดได้ (แบบสมดุล) ส่วนกรณีโคแอกเซียลต้องใช้อุปกรณ์บาลันร่วมในการติดตั้ง หรือใช้วิธีแมทช์แบบ แกมมาได้ (อธิบายวิธีนี้ในตอนต่อไป) ที่เหมาะกับสายแบบไม่สมดุล

กระแสไฟฟ้าที่ไหล ณ จุดต่อของรูป T ประกอบด้วยกระแสจากสายอากาศที่มาถึง ตัวแปรคลื่นนี้กับตัวนำรูป T โดยมีค่าขึ้นกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวนำ และระยะห่าง ระหว่างทั้งสอง เราอาจพิจารณาส่วนตัวนำกับสายอากาศที่ต่อไปเป็นรูปห้วงว่าเป็นส่วนลัดวงจร ของปลายสายนำสัญญาณได้ และเนื่องจากการแมทช์รูปตัว T นี้ความยาวของห้วงมีค่าน้อยกว่า $\lambda/4$ ทำให้เกิดค่ารีแอ็กแดนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้นซึ่งถ้าสายอากาศเกิดรีโซแนนซ์ที่มีความถี่ใช้ งานค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของ T จะมีทั้งความต้านทาน และค่ารีแอ็กแดนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าขึ้น เราต้องกำจัดค่ารีแอ็กแดนซ์นี้ให้หมดไป เพื่อเกิดผลการแมทช์ที่ดีกับสายนำสัญญาณ วิธีที่ทำ

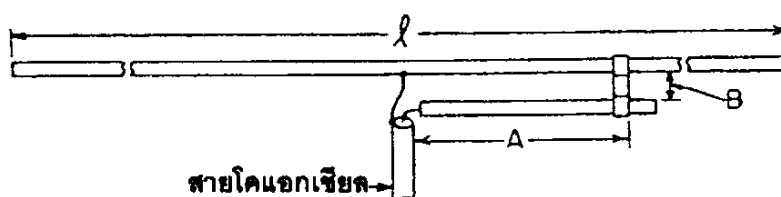
คือ ลดขนาดสายอากาศให้เกิดค่า รีแอ็กแตนซ์เชิงประจุไฟฟ้า เพื่อนำไปหักล้างกันจนหมด หรืออีกวิธีคือ ต่อตัวเก็บประจุอนุกรมกับจุดต่ออินพุต ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงการต่อตัวเก็บประจุอนุกรมเพื่อปรับค่ารีโซแนนซ์

2.2.27 วิธีแมชแบบเกมม่า

พิจารณารูปที่ 2.21

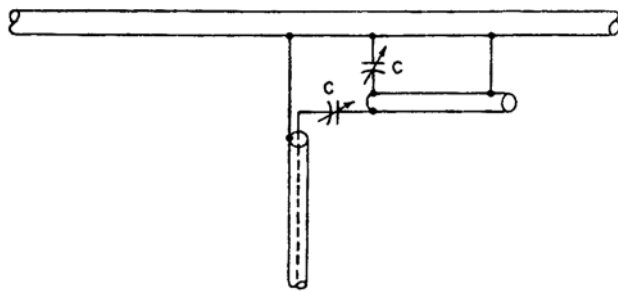


รูปที่ 2.21 แสดงวิธีแมชแบบเกมม่าโดยใช้สายโคแอกเซียลขนาด 52 โอห์ม หรือ 75 โอห์ม

วิธีเกมม่าใช้หลักการเดียวกับวิธีรูปตัวที แต่มีเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้นเหมาะที่จะใช้กับสายแบบไม่สมดุล เช่น สายโคแอกเซียล เป็นต้นวิธีการกำจัดรีแอ็กแตนซ์ก็เช่นเดียวกันคือ ลดขนาดสายอากาศ หรือตัวต่อเก็บประจุอนุกรมลงไป

2.2.28 วิธีแมชแบบโอเมก้า

วิธีนี้มีการปรับปรุงเพิ่มขึ้นจากวิธีแบบเกมม่า โดยใช้ตัวเก็บประจุต่อทั้งขานและอนุกรม เพื่อกำจัดรีแอ็กแตนซ์เชิงเหนี่ยวนำไฟฟ้าให้หมดไป ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงวิธีแมทช์แบบโอเมก้า

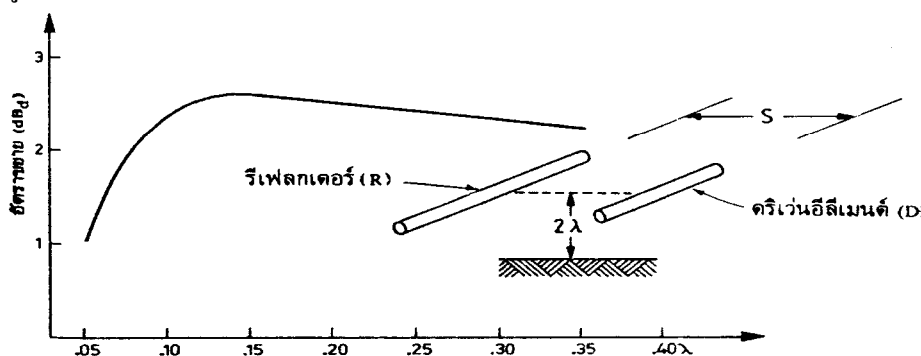
จากรูป C_1 เป็นตัวเก็บประจุอนุกรมที่มีอยู่แต่เดิม
 C_2 เป็นตัวเก็บประจุที่เพิ่มขึ้นมา

2.2.29 การออกแบบสายอากาศ YAGI ตามวิธีของ NBS

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

สายอากาศ YAGI เป็นสายอากาศทิศทางแบบหนึ่งที่ได้รับการนิยมนิยมนาน ตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่สองและก็ได้ได้รับความนิยมเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา มีผู้พยายามวิจัยเพื่อหาวิธีการออกแบบที่จะทำให้สายอากาศมีอัตราขยายต่อความยาวของบูมมากที่สุด โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ตั้งแต่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ต่าง ๆ จำนวนไดเรกเตอร์ และเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของอีลีเมนต์ต่าง ๆ ซึ่งก็พบว่าขนาดต่างๆ เหล่านี้ทั้งหมดมีผลกระทบระหว่างกันพอเปลี่ยนตัวหนึ่ง ก็ต้องเปลี่ยนระยะของตัวอื่นไปด้วย เพราะทุกอย่างมีผลกระทบถึงอัตราขยาย รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น และความถี่ใช้งาน

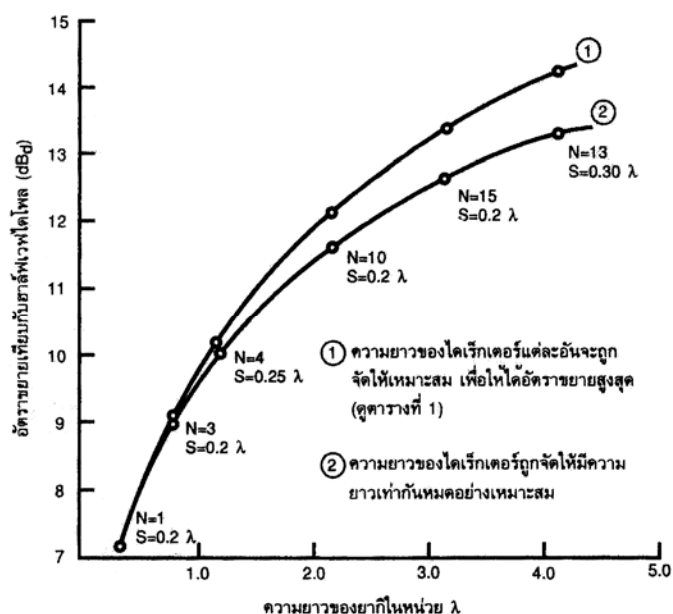
1. รีเฟลคเตอร์ วิศวกรของ NBS เริ่มต้นศึกษาจาก YAGI 2 อีลีเมนต์ก่อนว่า ระยะและความยาวของรีเฟลคเตอร์ควรเป็นเท่าไร จึงจะได้อัตราขยายสูงสุดเป็น 2.6 dB_d จากผลการทดลองดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงผลการทดลองหาอัตราขยายของสายอากาศ YAGI สำหรับระยะห่างต่าง ๆ กัน ระหว่างรีเฟลคเตอร์และครีเวนอีลีเมนต์ โดยทดลองที่ความสูงจากพื้นดินประมาณ 2λ

เมื่อรีเฟลคเตอร์อยู่หลังครีเวนอีลีเมนต์ 0.2λ โดยระยะนี้ไม่วิกฤตเท่าไรนัก เพราะแม้จะต่างจาก 0.2λ ไปบ้างก็ไม่ทำให้อัตราขยายลดลงไปมากนัก ดังนั้น ในการทดลองอื่น ๆ ถัดจากนี้ของ NBS จึงใช้ระยะห่างระหว่างรีเฟลคเตอร์และครีเวนอีลีเมนต์เป็น 0.2λ ตลอด วิศวกรของ NBS พยายามลองจัดรีเฟลคเตอร์ อีกหลาย ๆ รูปแบบ เพื่อคว้ามามีทางเพิ่มอัตราขยายได้อีกบ้างหรือไม่ ในที่สุดพบว่า เมื่อเพิ่มรีเฟลคเตอร์อีก 2 อัน (รวมเป็น 3 อัน) แล้วจัดเป็นรูปสามเหลี่ยม (เมื่อมองดูจากด้านข้าง) อย่างที่เรียกว่า Trigonal Reflector จะได้อัตราขยายเพิ่มขึ้น สูงสุดกว่า แบบที่ใช้รีเฟลคเตอร์อันเดียวอยู่ 0.75 dB เมื่อทดสอบกับสายอากาศ YAGI ที่ยาว 4.2λ ซึ่ง NBS คาดว่าน่าจะให้ผลทำนองเดียวกันเมื่อนำไปใช้กับสายอากาศ YAGI ที่ความยาวแบบอื่น ๆ และนำไปใช้ในกรณีที่ต้องการอัตราส่วนระหว่างสัญญาณด้านหน้าต่อด้านหลัง (F/B ratio) สูง

2. ไคเรกเตอร์ เมื่อจัดรีเฟลคเตอร์แล้วก็มาถึงไคเรกเตอร์ซึ่งนับเป็นหัวใจสำคัญ สำหรับการออกแบบสายอากาศ YAGI จากการทดลองพบว่าทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางความยาวและระยะห่างของไคเรกเตอร์ต่างมีผลกระทบถึงกันหมด นอกจากนั้น ยังพบว่ายิ่งใช้จำนวน ไคเรกเตอร์มากขึ้น (โดยใช้ความยาวแบบเพิ่มขึ้นด้วย) ค่าเหล่านี้ก็ยิ่งวิกฤตมากขึ้น คือ มีผลมากขึ้น ขนาดหรือระยะต่าง ๆ ผิดเพี้ยนไปหน่อย ก็มีผลต่อการทำงานอย่างเห็นได้ชัดขึ้น



รูปที่ 2.24 แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของยาเกิ

ในการทดลองของ NBS นั้น เขาเลือกใช้ไคเรกเตอร์ที่มีความยาวต่าง ๆ กัน มาวางให้แต่ละตัวห่างเท่า ๆ กัน ตั้งแต่ 0.01λ ถึง 0.40λ บนมุมที่ยาวขึ้นไปถึง 10λ เมื่อลองเอาผลต่าง ๆ เหล่านี้มาลองเขียนกราฟดูก็พบว่าระยะห่างที่เหมาะสมของไคเรกเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้น

ยังสามารถเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศได้อีก ถ้าเลือกความยาวของไดเรกเตอร์แต่ละอัน ให้เหมาะสมด้วย ในรูปที่ 2.24 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตราขยายสูงสุดที่ทดลองได้กับความยาวมุมต่าง ๆ กัน สำหรับกรณีที่ทำให้ความยาวของไดเรกเตอร์แต่ละอันอย่างเหมาะสม

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

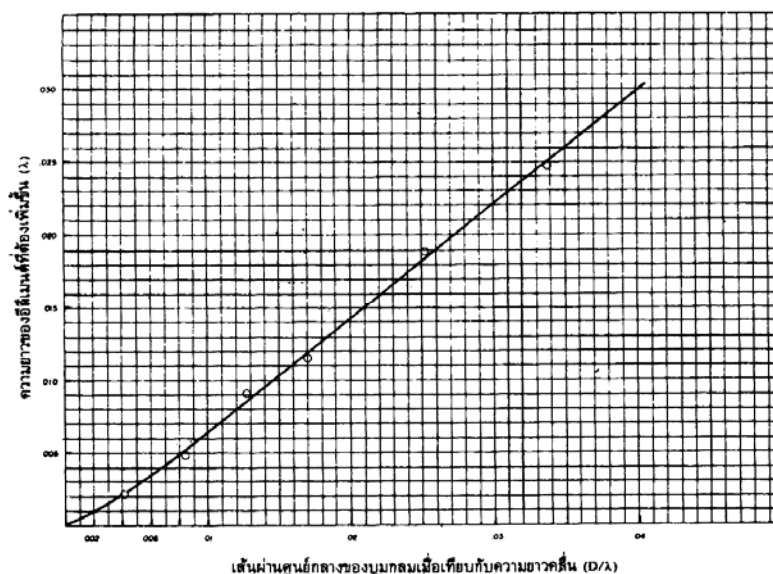
ตารางที่ 2.2 แสดงความยาวที่เหมาะสมของแต่ละอีลีเมนต์ ทุกกรณีนี้รีเฟลคเตอร์อยู่ห่างจาก ครีเวนอีลีเมนต์ 0.2λ และเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอีลีเมนต์เป็น 0.0085λ

ความยาวของมุม (λ)	0.4	0.8	1.2	2.2	3.2	4.2
จำนวนอีลีเมนต์ทั้งหมด	3	5	6	12	17	15
ความยาวของรีเฟลคเตอร์ (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 (รูปที่ 4)	A	C	C	B	C	D

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

4. ผลของมุม ข้อมูลทั้งหลายเกี่ยวกับความยาวของแต่ละอีลีเมนต์ของ NBS ได้มาจากการทดลองบนมุมสามเหลี่ยมซึ่งทำจากฉนวนที่เรียกว่า เฟลคซิกลาส จึงเสมือนหนึ่งเป็นมุมอากาศ หลังจากที NBS ทดลองจนได้ความยาวที่เหมาะสมแล้วจึงได้ศึกษาผลของมุมที่ใช้วัสดุต่างๆ กัน ที่ขนาดต่างๆ กันด้วยในรายงานของ NBS ระบุว่าเมื่อใช้มุมเป็นไม้แล้วผลการทำงาน

ของสายอากาศยากที่จะทำให้ซ้ำเติมได้ เนื่องจากผล ของความชื้นของอากาศแม้จะทาน้ำยากันขึ้น แล้วก็ตามแต่เมื่อใช้บูมเป็นโลหะแล้ว พบว่าสามารถทำซ้ำเติมได้ง่าย เมื่อเพิ่มความยาวของทุก ๆ อีลีเมนต์ เพื่อชดเชยผลของบูมในตอนแรก ๆ ดูเหมือนว่าเพิ่มความยาวไปด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่งก็พอแล้ว แต่เมื่อลองทำการทดสอบจริง NBS พบว่าบูมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก (เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น) มีผลต่อความยาวของอีลีเมนต์น้อยกว่าบูมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่านั้นคือ ยิ่งบูมใหญ่ก็ต้องเพิ่มความยาวของอีลีเมนต์มากขึ้น รูปที่ 2.25 แสดงความยาวของทุกอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้น เมื่อยึดทะลุผ่านบูมกลมขนาดต่าง ๆ กัน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 0.04λ นอกจากนั้น NBS ยังพบอีกว่าบูมสี่เหลี่ยมและบูมกลมให้ผลเท่ากัน



รูปที่ 2.25 กราฟแสดงความยาวของอีลีเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้นจากการทดลองของ NBS

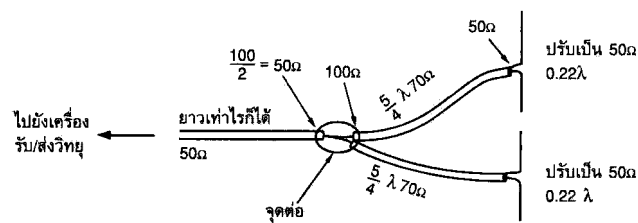
เมื่อยึดอีลีเมนต์ทะลุผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบูมกลมโดยสัมผัสทางไฟฟ้ากับบูมด้วย

5. ครีเวนอีลีเมนต์และการแมทช์ ในรายงานของ NBS ระบุว่าความยาวของครีเวนอีลีเมนต์ไม่ค่อยมีผลต่อการทำงาน (ในด้านอัตราขยายและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น) ของสายอากาศ YAGI ที่ออกแบบนี้เท่าไร トラバิดที่ความยาวทางไฟฟ้าใกล้เคียง $\lambda/2$ และยังคงสั้นกว่ารีเฟลคเตอร์ ดังนั้น NBS จึงไม่ได้ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับความยาวที่แน่นอนของครีเวน อีลีเมนต์ และวิธีการแมทช์มาให้ วิธีการแมทช์จะมีผลตรงที่มักจะทำให้แถบความถี่ใช้งาน (BAND WIDTH) ของสายอากาศแคบลงมาน้อยเพียงใด และบางแบบอาจมีการแผ่คลื่นออกมาด้วย หรือทำให้กระแสในแต่ละซีกของครีเวนอีลีเมนต์ไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลให้รูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศผิดเพี้ยนไปบ้าง สำหรับการทดลองส่วนใหญ่ ของ NBS แล้ว จะใช้โพลเดคไดโพลเป็น ครีเวนอีลีเมนต์ โดยมีโคแอกเซียลบาลัน 4:1 และมีสตัปมาช่วยการแมทช์

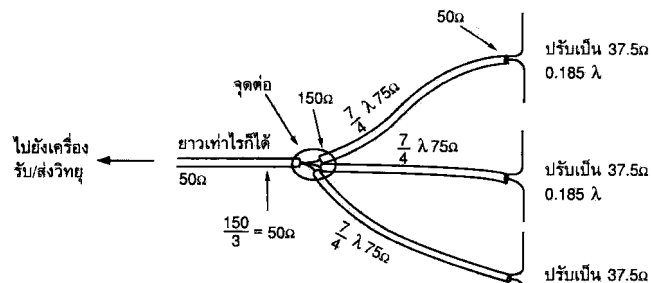
ดังนั้นเมื่อทราบค่าอิมพีแดนซ์ของสายแมทซ์ซึ่งที่ใช้และอิมพีแดนซ์ที่ถูกแปลงมาแล้วก็หาค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ต้องสร้างขึ้นได้จาก

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

จากตัวอย่างต้องแปลงอิมพีแดนซ์ของไดโพลแต่ละต้นให้เป็น 100 โอห์มเสียก่อน โดยการนำเอาสายโคแอกเซียลที่มีอิมพีแดนซ์ 70 โอห์ม และมีความยาวทางไฟฟ้าเป็นจำนวนเท่าเลขคี่ของ $\frac{\lambda}{4}$ มาทำเป็นสายแมทซ์ซึ่งโดยแทรกเข้าไปที่ไดโพลแต่ละตัวก่อน ดังนั้นเมื่อมองที่อีกปลายหนึ่งของสาย แมทซ์จะมองเห็นอิมพีแดนซ์เป็น 100 โอห์มเมื่อนำมาขนานกันก็จะได้อิมพีแดนซ์รวมเป็น 50 โอห์ม สามารถต่อเข้ากับสายโคแอกเซียล 50 โอห์ม เพื่อไปเข้ากับเครื่องรับ/ส่งวิทยุต่อไป



(ก) การต่อ 2 สแน็ค



(ข) การต่อ 3 สแน็ค

รูปที่ 2.26 แสดงตัวอย่างวิธีการแมทซ์ไดโพล 2 และ 3 สแน็ค

2.2.33 ความยาวจริงของสายแมทซ์

ความยาวจริงจะสั้นกว่าความยาวทางไฟฟ้า เพราะคลื่นวิทยุจะเดินทางในสายได้ช้ากว่าเดินทางในอากาศ ดังนั้นเมื่อต้องการทราบความยาวที่แท้จริงของสายอากาศโคแอกเซียล จะต้องนำเอาตัวคูณทางความเร็ว (Velocity Factor หรือ V) ของสายโคแอกเซียลที่ใช้คูณเข้าไป ซึ่งค่าตัวคูณนี้จะเปิดดูได้จากแคตตาล็อกของผู้ผลิต หรือตำราที่เกี่ยวกับวิทยุสมัครเล่นก็ได้

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของสายโคแอกเชียลที่นิยมใช้กัน

สายเบอร์	$Z_0 (\Omega)$	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/U โฟม	50.0	0.80	2.0	1,100	-
RG-11A/U	75.0	0.66	2.8	800	28
RG-58A/U	52.0	0.66	6.0	175	12

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

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

การนำสายอากาศแบบ YAGI มาสแต็กกัน 2 แผง เพื่อให้ได้อัตราการขยายที่สูงขึ้น ใช้สายนำสัญญาณ 75 โอห์ม ที่มีชื่อหน้ามาทำการแมทซ์ 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

2.3 กระบวนการเรียนรู้ด้วยวิธี CIPPA MODEL

การจัดการเรียนการสอนแบบยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง โดยใช้วิธี CIPPA MODEL (ทิสนา แยมมณี. 2541 : 28-31) สามารถช่วยให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งทางด้านร่างกาย สติปัญญา สังคมและอารมณ์ดังนี้

C มาจากคำว่า Construct หมายถึง การสร้างความรู้ตามแนวคิดของ Constructivism กล่าวคือ กิจกรรมการเรียนรู้ที่ดีควรเป็นกิจกรรมที่ช่วยให้ผู้เรียนมีโอกาสสร้างความรู้ด้วยตนเอง

I มาจากคำว่า Interaction หมายถึง การได้ปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่นหรือสิ่งแวดล้อม

P มาจากคำว่า Physical Participation หมายถึง การมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ทางกาย คือ ผู้เรียนมีโอกาสเคลื่อนไหวร่างกายโดยทำกิจกรรมในลักษณะต่าง ๆ

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

A มาจากคำว่า Application หมายถึง การนำความรู้ที่ได้เรียนรู้ไปประยุกต์ใช้ ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนได้รับประโยชน์จากการเรียนและช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้เพิ่มเติมขึ้นเรื่อย ๆ

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

2.4 การสอนภาคปฏิบัติ

การสอนภาคปฏิบัติ เป็นการสอนโดยวิธีสอนแบบปฏิบัติการทดลองที่ทำให้เกิดประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องนำไปปฏิบัติ หรือการศึกษาข้อเท็จจริงจากภาคทฤษฎีที่ได้มีผู้ค้นพบมาแล้ว โดยผู้เรียนทำการทดลอง หรือโดยวิธีการสอบสวนค้นคว้าและปฏิบัติ การทดลองตามเนื้อหาทฤษฎีที่ได้เรียนมา แล้วสรุปถึงข้อเท็จจริงตามทฤษฎี

2.4.1 ความหมายของการสอนแบบปฏิบัติการทดลอง

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

การสอนแบบทดลอง (Laboratory Instruction) คือ กระบวนการที่ผู้สอนพยายามสร้างกิจกรรมหรือสถานการณ์เพื่อให้ผู้เรียนได้สัมผัสและได้รับประสบการณ์จากการปฏิบัติทดลอง รวมทั้งเพื่อให้ผู้เรียนแก้ปัญหา พิสูจน์ข้อเท็จจริงจากทฤษฎีที่ได้มีการค้นพบแล้วและเกิดการเรียนรู้ เกิดประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับสิ่งที่ต้องนำไปปฏิบัติสามารถพัฒนาทักษะการใช้เครื่องมือ รวมทั้งสามารถประยุกต์หลักการที่ใช้ในห้องทดลองกับงานจริงในภาคสนามได้ ทั้งนี้เนื่องจากการเรียนรู้ที่ผู้เรียนจะทำการทดลองตามเนื้อหาทฤษฎีที่ได้เรียนมาโดยใช้วิธีการสอบสวนค้นคว้าและปฏิบัติการทดลอง ส่วนผู้สอนจะต้องเตรียมพร้อมในเรื่องของใบประกอบหรือใบทดลอง ผลการทดลอง (Lab Sheet) ซึ่งประกอบด้วย วัตถุประสงค์ รายการเครื่องมือและอุปกรณ์ ลำดับขั้นตอนการทดลอง ผลการทดลอง รวมทั้งคำถามปัญหาและสิ่งอื่น ๆ ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จากนั้นผู้สอนจะทำการควบคุมการทดลองจนกระทั่งผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้ด้วยตนเอง และจะทำการอภิปรายผลการทดลองร่วมกันระหว่างผู้เรียนและผู้สอน

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

2.4.2 ประโยชน์และความสำคัญของการสอนแบบทดลอง

ประโยชน์และความสำคัญของการสอนแบบทดลองมีดังนี้ คือ

- 2.4.2.1 เพื่อพิสูจน์เกี่ยวกับหลักการ กฎ สูตร และคุณสมบัติของอุปกรณ์
- 2.4.2.2 เพื่อพัฒนาทักษะทางสมอง เช่น การวิเคราะห์ การสอบสวน และการแก้ปัญหา
- 2.4.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ
- 2.4.2.4 เพื่อศึกษาเรื่องเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมภายในที่สำคัญของอุปกรณ์เครื่องมือ
- 2.4.2.5 เพื่อเป็นการฝึกหัดการทำงานเป็นขั้นตอน
- 2.4.2.6 เพื่อให้รู้จักคุ้นเคยกับกลไกของเครื่องมือและอุปกรณ์
- 2.4.2.7 เพื่อพัฒนาความสามารถในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์

2.4.2.8 เพื่อพัฒนาความรอบคอบในการทำงาน

2.4.2.9 เพื่อเสริมสร้างจิตสำนึกในการรักษาความปลอดภัย

2.4.2.10 เพื่อประยุกต์หลักการที่ใช้ในห้องทดลองกับงานจริงในภาคสนามได้

2.4.2.11 เพื่อให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์ตรง

2.4.2.12 เพื่อพัฒนาความสามารถของผู้เรียนในการมีปฏิสัมพันธ์ ระหว่างความคิด หลักการ ความรู้ต่าง ๆ รวมทั้งเพื่อให้ผู้เรียนมองภาพรวมในเนื้อหา ของวิชานั้นได้

สรุปประโยชน์และความสำคัญของการสอนแบบทดลอง เพื่อพิสูจน์เกี่ยวกับหลักการ กฎ สูตร คุณสมบัติของอุปกรณ์ มีความคุ้นเคยกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ การทำงานเป็น ขั้นตอน มีความรอบคอบและมีความปลอดภัยในการทำงาน และนำเอาความรู้หลักการ ประสบการณ์ตรงที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้กับงานจริงในภาคสนามได้ (ชัชวาลย์ มูลศรี. 2540 : 10-11)

การทดลองในห้องทดลอง เป็นการฝึกปฏิบัติที่มุ่งให้นักศึกษาได้เรียนรู้หลักการ และ ข้อเท็จจริงจากการที่คนอื่น ๆ ได้ค้นพบแล้ว เป็นการทบทวนและย้ำว่าข้อเท็จจริงนั้นเป็นไปตาม ที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้วอย่างไรบ้าง เป็นการพิสูจน์ทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแล้วในชั้นเรียน นอกจากนั้น ยังมุ่งหวังที่จะให้นักศึกษาได้คุ้นเคยกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ อย่างถูกต้อง และเหมาะสมเป็น การเริ่มต้นแนวทางประดิษฐ์ และการคิดค้นสิ่งใหม่ๆ อีกต่อไป (สุรพล ปูนันททอง. 2536 : 10)

2.4.3 การออกแบบ และสร้างชุดทดลอง

แนวทางในการออกแบบการสร้างมีลำดับขั้นตอนดังนี้ (วัลลภ จันทร์ตระกูล. 2530 : 25-45)

2.4.3.1 กำหนดจุดมุ่งหมายในการนำชุดทดลองไปใช้ในการสอนจากการตัดสินใจที่จะใช้ชุดทดลองสำหรับการใช้ในการสอนเรื่องใดแล้ว จะทำให้ทราบได้ว่าชุดทดลองนำไปใช้ กับนักศึกษากลุ่มใด และต้องทราบรายการวัตถุประสงค์ของเรื่องนั้น เพราะข้อมูลดังกล่าวจะ นำมาใช้เป็นข้อมูลในการดำเนินงานออกแบบ สร้างชุดทดลอง และกำหนดคุณลักษณะของอุปกรณ์ ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง ขั้นตอนนี้อาจกล่าวได้ว่า เป็นขั้นตอนการศึกษาข้อมูล ต่างๆ เพื่อให้การออกแบบสร้างชุดทดลองเกิดความเป็นจริง สำเร็จผลตามเป้าหมาย ควรศึกษา สภาพในการเรียนการสอน ศึกษาข้อมูลด้านวิชาการในเรื่องนั้นด้วยในบางครั้ง ถ้าหากได้มีการ พัฒนามาแล้วโดยผู้อื่น ควรที่จะศึกษารายละเอียดต่างๆ ด้วย เมื่อศึกษาข้อมูลต่างๆ แล้วจึง นำมาใช้เขียนจุดประสงค์ของอุปกรณ์ และจะไม่ระบุรูปร่างทางเทคนิคเฉพาะเจาะจง สุดท้าย ตรวจสอบความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของเรื่อง

2.4.3.2 วิเคราะห์และตัดสินใจเลือกชิ้นส่วนประกอบของอุปกรณ์ เป้าหมายที่สำคัญ คือ ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการเลือกอุปกรณ์ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการทำงาน ขนาด รูปร่าง การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น

2.4.3.3 การสร้างต้นแบบและตรวจสอบการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์ และชิ้นส่วนแล้ว นำมาร่างเป็นภาพประกอบคร่าวๆ หรือร่างเป็นแบบง่ายๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสร้างต้นแบบ ในขั้นตอนนี้อาจจะมีการประลอง หรือทดลองกลไกในหน้าที่ของอุปกรณ์บางอย่าง เพื่อให้การ สร้างต้นแบบประสบผลสำเร็จ อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามต้องการ

2.4.3.4 การเขียนแบบ ในกรณีที่ออกแบบสร้างเพียงชิ้นเดียวก็ไม่จำเป็น แต่หาก จะทำการผลิตหรือต้องการเก็บข้อมูลต่างๆเพื่อเป็นประโยชน์ในการดำเนินการต่อไป งานเขียน แบบนั้นจะมีความสำคัญอย่างมาก แบบงานจะเป็นข้อมูลสำหรับดำเนินการผลิตหรือการสร้าง ดังนั้น แบบงานจะต้องเป็นแบบแยกชิ้นเดี่ยว ที่มีข้อมูลอย่างครบถ้วนสำหรับช่วงที่จะทำการผลิต ได้ งานเขียนแบบจะต้องมีการกำหนดเป็น 4 กลุ่ม คือแบบรวม แบบประกอบกลุ่มหลัก แบบ ประกอบกลุ่มย่อย และแบบชิ้นเดี่ยว การเขียนแบบมีความสำคัญต่อการกำหนดราคา การ วางแผนการผลิต และเก็บข้อมูลทางด้านชิ้นส่วนวัสดุของหน่วยงาน

2.4.3.5 อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างโดยทั่วไปต้องเตรียมเอกสารประกอบ หรือคู่มือการ ใช้งานเพื่อผู้ใช้จะได้ใช้อุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องปลอดภัย และสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ในการ ออกแบบสร้างอุปกรณ์นั้น โดยเฉพาะกลุ่มที่ออกแบบเพื่อใช้ในการเรียนการสอนต้องมีเอกสาร ประกอบสำหรับใช้ในการเรียนการสอน เอกสารที่ต้องจัดเตรียมอาจจะมีลักษณะที่แตกต่างกันตาม จุดมุ่งหมายของงาน เช่น คู่มือการใช้งาน เอกสารประกอบการศึกษาการทดลอง ตำรา ใบงาน แบบฝึกหัดและแบบทดสอบ เป็นต้น

2.4.3.6 ใบงานเป็นใบสั่งงานให้กับนักศึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติ ซึ่งจะ บอกลำดับขั้นตอนในการทดลอง และแนวทางที่ใช้ในการค้นคว้าเพิ่มเติมในการปฏิบัติการ นับเป็น สื่อชนิดหนึ่ง ดังนั้นจะพบว่าใบงานมีความสำคัญต่อการเรียนการสอนภาคปฏิบัติอย่างมาก และ สิ่งที่จะต้องมิไว้ในใบงานมีดังนี้

1. วัตถุประสงค์ของการปฏิบัติที่ชัดเจน
2. มีรายการเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการปฏิบัติ
3. มีลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง
4. มีวงจรที่ใช้ในการปฏิบัติ
5. มีข้อควรระวังในการปฏิบัติงาน
6. คำถามที่กระตุ้นความคิดของผู้เรียน
7. วิเคราะห์เนื้อหาวิชาปฏิบัติโดยศึกษาเพื่อวางโครงร่างลำดับความสัมพันธ์

และแบ่งระดับความยาก-ง่ายของเนื้อหาวิชา ที่จะทำการออกแบบสื่อการเรียนการสอนซึ่งศึกษา จากตำรา เอกสารการสัมมนา ปริญญาจารย์ที่ปรึกษา

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

2.4.3.8 การปรับปรุงข้อมูล และประสบการณ์ที่ได้จากการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงชุดทดลอง และใบงานที่มีคุณภาพจนเป็นที่ยอมรับ

ชุดทดลองที่ทำให้การเรียนการสอนในสาขาวิชาวิศวกรรมบรรลุวัตถุประสงค์ได้จะต้องมีประสิทธิภาพสูง กล่าวคือ ค่าที่ได้จากการทดลองต้องใกล้เคียงกับค่าจริงหรือค่าที่สามารถคำนวณได้มากที่สุด การแสดงค่ารวมทั้งการทำงานควรให้ผู้เรียนสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเข้าใจในทฤษฎีที่ได้ศึกษามาแล้วอย่างเป็นรูปธรรม (ยีน ญัรวรรณ. 2534 :3)

2.5 การหาประสิทธิภาพชุดทดลอง

การเรียนการสอนในสาขาช่างอุตสาหกรรม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการปฏิบัติเป็นสื่อเพื่อใช้ประกอบการเรียนภาคปฏิบัติโดยผู้เรียนใช้ชุดปฏิบัติการทำการทดลอง เพื่อหาผลเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้เรียนจากภาคทฤษฎี ครูผู้สอนจะต้องเตรียมชุดทดลองหรือสร้างชุดทดลองเป็นสื่อการเรียนการสอน โดยเฉพาะในวิชาปฏิบัติ การมีชุดทดลองที่มีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับหลักสูตรของรายวิชา และครูผู้สอนนำไปใช้อย่างถูกต้องจะเป็นผลทำให้กระบวนการเรียนการสอนมีประสิทธิภาพ

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

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

2.5.1 ประสิทธิภาพในการสื่อความหมาย

2.5.1.1 ด้านวัตถุประสงค์

- (1) สื่อครอบคลุมวัตถุประสงค์
- (2) สื่อเหมาะสมกับระดับความยากง่ายของวัตถุประสงค์

2.5.1.2 เนื้อหาวิชาถูกต้องไม่มีจุดผิด

- (1) ถูกต้องไม่มีจุดผิด
- (2) แยกย่อยได้
- (3) เรียงลำดับเป็นตรรก

มากขึ้น

2.5.1.3 ประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการสื่อความหมาย

- (1) บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์
- (2) สามารถลดการให้เนื้อหาแบบเลื่อนลอยให้มีความหมายและเป้าหมาย
- (3) สามารถลดเวลาในการสื่อความหมายให้เข้าใจได้ดีและสั้นลง
- (4) ช่วยเพิ่มกิจกรรมในการเรียนการสอนให้ผู้เรียนกระตือรือร้นมากขึ้น
- (5) ดึงดูดความสนใจของผู้เรียนให้ดีขึ้น

2.5.2 องค์ประกอบที่เกี่ยวกับคน

2.5.2.1 ด้านผู้เรียน สื่อที่ใช้เหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน

2.5.2.2 ด้านผู้สอน

- (1) สื่อไม่จำเป็นอาศัยความสามารถพิเศษในการใช้สอน
- (2) สื่อที่ใช้เหมาะสมกับประสบการณ์ของผู้สอน

2.5.3 องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับความพร้อมและการนำไปใช้งาน

2.5.3.1 ด้านวัสดุอุปกรณ์

- (1) ใช้วัสดุราคาพอสมควรกับความจำเป็น
- (2) ใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น
- (3) อุปกรณ์ที่ใช้ประกอบส่วนใหญ่หาได้ตามวิทยาลัยทั่วๆ ไป

2.5.3.2 ด้านเวลา

- (1) เวลาที่ใช้ในการผลิตไม่มากนัก
- (2) เวลาที่ใช้ในการแสดงสื่อนั้นไม่มากเกินไป

2.5.3.3 ด้านการใช้งาน

- (1) สามารถนำไปใช้อย่างง่าย และสะดวก
- (2) ไม่ยุ่งยากในการเตรียมงาน
- (3) ไม่ต้องการอุปกรณ์ช่วยพิเศษอื่นๆ ขณะนำไปใช้งาน

2.5.4 การหาประสิทธิภาพของชุดการสอน

ชัยขงค์, สมเชาวน์ และสุดา (2531) ได้กล่าวถึงการหาประสิทธิภาพของชุดการสอนดังนี้

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

การทดลองใช้ หมายถึง การนำชุดการสอนที่ผลิตขึ้นเป็นต้นแบบ (Prototype) ไปทดลองใช้ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในระบบ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของชุดการสอนให้เท่ากับเกณฑ์ที่กำหนดไว้

การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพ หมายถึง ระดับประสิทธิภาพของชุดการสอนที่จะช่วยให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ ในการกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพจะกระทำโดยการประเมินผลพฤติกรรมของผู้เรียนที่เป็นพฤติกรรมต่อเนื่อง เรียกว่า ประสิทธิภาพของกระบวนการ และพฤติกรรมสุดท้ายเรียกว่า ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ โดยกำหนดค่าประสิทธิภาพเป็น

E_1 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ

E_2 คือ ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

E_1 / E_2 คือ ประสิทธิภาพของกระบวนการ/ประสิทธิภาพของผลลัพธ์

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

ในกรณีที่ประสิทธิภาพของชุดการสอนที่ผลิตขึ้นไม่เท่ากับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เนื่องจากมีตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ เช่น สภาพห้องเรียน ความพร้อมของผู้เรียน ความชำนาญในการใช้ชุดการสอนของครู จึงอนุโลมให้มีค่าความคลาดเคลื่อนไว้ ± 2.50

การหาประสิทธิภาพ เมื่อผลิตชุดการสอนแล้วจะต้องนำชุดการสอนไปหาประสิทธิภาพตามขั้นตอนดังนี้

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

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

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

4. หาประสิทธิภาพชุดการสอน เพื่อเป็นการประกันหรือยืนยันว่าชุดการสอนที่สร้างขึ้นมามีประสิทธิภาพในการสอน ผู้สร้างจำเป็นต้องกำหนดเกณฑ์ขึ้นโดยคำนึงถึงหลักเกณฑ์ที่ว่า การเรียนรู้เป็นกระบวนการเพื่อช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้เรียนบรรลุผล การกำหนดเกณฑ์จำเป็นต้องคำนึงถึง “กระบวนการ” และ “ผลลัพธ์” การกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพของชุดการสอนนิยมนำไว้ 90/90 สำหรับเนื้อหาวิชาที่เป็นความจำและไม่ต่ำกว่า 80/80 สำหรับวิชา

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

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและหาประสิทธิภาพชุดทดลองวิชาสายส่งและสายอากาศในด้านต่าง ๆ ดังนี้

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

สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี (2546 : บทคัดย่อ) ได้ทำการวิจัยเรื่องการออกแบบวงจรและสร้างโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ผลการวิจัยพบว่าวงจรและโมดูลบอร์ดชุดปฏิบัติการ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่สร้างขึ้นมีคุณภาพทางด้านการศึกษาอยู่ในเกณฑ์ดีโดยเฉลี่ยเท่ากับ 4.49 และค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.06 และมีคุณภาพทางด้านการวิศวกรรมในเกณฑ์ดีมากโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.52 และมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.58 ซึ่งคุณภาพของชุดปฏิบัติการ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876 ที่ได้นี้เป็นไปตามสมมุติฐานการวิจัย

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

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

สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.85/85.60 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 80/80 และเป็นไปตามสมมุติฐานการวิจัย

จากการศึกษาค้นคว้า ตำรา เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้นำมาสรุป เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย ดังต่อไปนี้

1. ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ที่สร้างขึ้น ควรมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์เกี่ยวกับหลักการ กฎ สูตร คุณสมบัติของอุปกรณ์ ให้นักศึกษาค้นเคยกับการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ การทำงานดำเนินไปเป็นขั้นตอน มีความรอบคอบ ความปลอดภัยในการทำงานและนำเสนอผลการณ์ตรงที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้กับงานได้จริง

2. ชุดทดลองสายอากาศแบบ YAGI ควรประกอบด้วย แผนการสอน ใบความรู้ ใบงาน การทดลอง ใบประเมินผลการทดลองที่ครอบคลุมเนื้อหาตามจุดประสงค์รายวิชาสายส่งและสายอากาศ

3. การจัดหาอุปกรณ์ในการสร้างชุดทดลองต้องหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ในการเลือกอุปกรณ์ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการทำงานขนาด รูปร่าง การบำรุงรักษา ความคงทน ราคา เป็นต้น