



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

สายอากาศย่าน UHF สำหรับระบบแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์แบบดิจิทัล
The Antenna UHF range for Digital Video Broadcasting

นายชูชาติ	พุตระกูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรพล	บุญจันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิฐ	บุญศรีเมือง
นายณรงค์ศักดิ์	มโนสิทธิชัย

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

สายอากาศย่าน UHF สำหรับระบบแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์แบบดิจิทัล
The Antenna UHF range for Digital Video Broadcasting

นายชูชาติ	พุตระกูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรพล	บุญจันทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิฐ	บุญศรีเมือง
นายณรงค์ศักดิ์	มโนสิทธิชัย

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2555
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) สายอากาศย่าน UHF สำหรับระบบแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์แบบดิจิทัล.....
 แหล่งเงินทุน งบประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์.....
 งบประมาณ..... 2555..... จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน..... 72,000..... บาท
 ระยะเวลาทำการวิจัย..... 1..... ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2554..... ถึง กันยายน 2555.....
 ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด.....
 1. นายชูชาติ..... พุทธะกุล..... สำนักงานคณบดี (งานเทคโนโลยีสารสนเทศ) คณะวิศวกรรมศาสตร์.....
 2. ผศ.สุรพล..... บุญจันทร์..... สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม..... คณะวิศวกรรมศาสตร์.....
 3. ผศ. ดร.พิสิฐ..... บุญศรีเมือง..... สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม..... คณะวิศวกรรมศาสตร์.....
 4. นายณรงค์ศักดิ์..... มโนสิทธิชัย..... สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม..... คณะวิศวกรรมศาสตร์.....

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างสายอากาศแบบเจโพล เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานสำหรับระบบการแพร่สัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัลตามมาตรฐานระบบ DVB-T เนื่องจากคุณสมบัติเด่นและมีข้อดีของสายอากาศแบบเจโพล คือ ง่ายต่อการออกแบบ น้ำหนักเบา ราคาต้นทุนต่ำ มีการแพร่กระจายคลื่นรอบทิศทาง มีค่า VSWR ใกล้เคียง 1 ดังนั้นสายอากาศชนิดนี้จึงเป็นที่นิยมและถูกนำไปใช้งานกับระบบสื่อสารต่าง ๆ กันอย่างแพร่หลาย เช่น ระบบวิทยุกระจายเสียง ระบบวิทยุสมัครเล่น เป็นต้น

การดำเนินการวิจัยนี้ ได้นำทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของสายอากาศมาใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบสายอากาศแบบเจโพลบนย่านความถี่ UHF ช่วงแถบความถี่ตั้งแต่ 470 - 478 MHz แบนด์วิดท์เท่ากับ 8 MHz จากนั้นได้ทำการคำนวณและจำลองสายอากาศแบบเจโพลด้วยโปรแกรม MMANA-GAL เพื่อตรวจสอบหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากผลการจำลองของสายอากาศที่ได้ พบว่า มีค่าอัตราขยายเท่ากับ 3.18 dBi มีการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่ดี มีค่า VSWR เท่ากับ 1:1.1 ในส่วนสุดท้าย หลังจากดำเนินการจำลองผลของสายอากาศเสร็จแล้ว จะนำโครงสร้างพื้นฐานของสายอากาศไดโพลสำหรับการสร้างจริงด้วยวัสดุทองแดง

คำสำคัญ : โทรทัศน์ดิจิทัล DVB-T สายอากาศ สายอากาศแบบเจโพล

Research Title: The Antenna UHF range for Digital Video Broadcasting.....

Researcher Chouchart Poutrakul, Surapol Boonjun, Pisit Boonsrimuang and
Narongsak Manositthichai.....

Faculty: Engineering Department Dean Office (Information Technology).....

ABSTRACT

This research presents the design and fabrication of a J pole antenna to employ for digital television broadcasting system standard of DVB-T. Due to, features and advantages of the J pole antenna; easy to design, lightweight, low-cost, omni-directional pattern and VSWR nearby 1. Therefore, this antenna is very popular and has been used for various communication systems, such as radio broadcasting system, amateur radio system, etc. In this research, the theory and the principles of antenna is used to analyze and design the J-pole antennas in the UHF range (470-478 MHz), and the bandwidth is 8 MHz. Then, the J-pole antenna is calculated and simulation by using MMANA-GAL.

From the simulation results, the gain is 3.18 dBi with good impedance matching and VSWR is 1:1.1. Finally, after performing antenna simulation was completed. The J- pole antenna will be fabricated with copper materials, by using the basic structure of the dipole antenna.

Keyword : Digital television, DVB-T, antenna, J-Pole antenna

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง สายอากาศย่าน UHF สำหรับระบบแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์แบบดิจิทัลในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 และความอนุเคราะห์ของ บุคคลหลายท่าน ซึ่งไม่อาจจะนำมากล่าวได้ทั้งหมด

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ท่านอธิการบดี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนการดำเนินการวิจัยและอำนวยความสะดวกทุกประการ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการอำนวยความสะดวก อีกทั้งยังให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย

ขอขอบคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ เจ้าของเอกสาร บทความ ตำรา หนังสือทุกท่านที่คณะผู้วิจัยใช้ในการสืบค้นข้อมูลที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายชูชาติ พุตระกูล

ผศ.สุรพล บุญจันทร์

ผศ. ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง

นายณรงค์ศักดิ์ มโนสิทธิชัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	1
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.2 การทบทวนวรรณกรรม (Literature review).....	3
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานและการประยุกต์ใช้งานสายอากาศ.....	4
3.1 ความถี่และความยาวคลื่น.....	4
3.1.1 ความเร็วของพลังงานความถี่วิทยุ (Radio Frequency).....	5
3.1.2 ความยาวคลื่น, ความยาวคลื่นของพลังงานความถี่วิทยุ ณ ความถี่ใด ๆ.....	5
3.1.3 ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น (Half-Wavelength) ($\lambda / 2$).....	6
3.1.4 เศษหนึ่งส่วนสี่ของความยาวคลื่น (Quarter-Wavelength) ($\lambda / 4$).....	6
3.2 ประเภทของคลื่นวิทยุ [15].....	6
3.2.1 คลื่นผิวดิน.....	8
3.2.2 คลื่นตรง.....	9
3.2.3 คลื่นหักเหโทรโปสเฟียร์.....	9
3.3 ความยาวสายอากาศ.....	9
3.4 คุณสมบัติและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ [16].....	10
3.6.1 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio).....	10
3.6.2 การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss).....	11
3.6.3 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency).....	11
3.6.4 สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity).....	11
3.6.5 อัตราขยายของสายอากาศ (Gain).....	12
3.6.6 สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity).....	14
3.6.7 แบนด์วิดท์ (Bandwidth).....	11
3.5 รูปแบบการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) [17].....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 สายอากาศประเภทต่าง ๆ	17
3.6.1 สายอากาศแบบ Omni.....	17
3.6.2 สายอากาศแบบ Direction.....	17
บทที่ 4 การออกแบบและสร้างสายอากาศเจโพล	20
4.1 สายอากาศเจโพล [24].....	20
4.2 คุณสมบัติเด่นของสายอากาศเจโพล [26].....	20
4.3 การออกแบบและการสร้างสายอากาศเจโพลสำหรับโทรศัพท์มือถือ.....	24
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	32
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	32
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	32
เอกสารอ้างอิง	33
ภาคผนวก	35
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งานโปรแกรม MMANA-GAL.....	36
ภาคผนวก ข คู่มือการออกแบบและสร้างสายอากาศเจโพล.....	69
ประวัติคณะผู้วิจัย	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ย่านความถี่และความยาวคลื่น.....	5

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 คลื่นรูปไซน์ ความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับระยะห่างระหว่างยอดคลื่น [14]	5
3.2 คลื่นฟ้าและคลื่นดิน	7
3.3 องค์ประกอบของคลื่น	8
3.4 การแพร่กระจายคลื่นพื้นผิว (Surface Wave)	8
3.5 ทิศทางของคลื่นตรง และคลื่นที่สะท้อนจากพื้นโลก	9
3.6 ตัวอย่างรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่มีขนาดต่างกัน	15
3.7 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวของสายอากาศไดโพลในแบบสามมิติ	16
3.8 แสดงการแพร่กระจายคลื่นแบบมีทิศทาง	16
3.9 สายอากาศแบบ Omni [19]	17
3.10 สายอากาศแบบ flat Panel [20]	17
3.11 สายอากาศยาคิ-อุตะ [21]	18
3.12 สายอากาศพาราโบลิค [22]	18
3.13 สายอากาศแบบ Wave Guide [23]	19
4.1 ตัวอย่างสายอากาศแบบ J (a) สายอากาศเจโพล (b) สายอากาศสลิมจิม (Slim Jim Antenna)	20
4.2 ตัวอย่างการคำนวณสำหรับการสร้างสายอากาศแบบเจโพล 2 เมตร	21
4.3 ตัวอย่างการคำนวณสำหรับการสร้างสายอากาศแบบสลิมจิม [27]	21
4.4 ตัวอย่างการคำนวณสำหรับการสร้างสายอากาศซูปเปอร์เจโพล 2 เมตร [28]	22
4.5 รูปร่างของสายอากาศเจโพลแบบต่าง ๆ	22
4.6 ตัวอย่างสายอากาศเจโพล 2 สแตก	23
4.7 ตัวอย่างสายอากาศเจโพล $5/8 \lambda$	23
4.8 ตัวอย่างเว็บไซต์ที่ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคำนวณสายอากาศเจโพล [29], [30]	24
4.9 แบบจำลองการออกแบบสายอากาศเจโพลสำหรับโทรศัพท์มือถือ	25
4.10 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเจโพลที่ย่านความถี่ UHF โดยการจำลองด้วยโปรแกรม MMANA-GAL [32]	27
4.11 ค่าการแมตซ์ของสายอากาศ ค่า VSWR และค่า Gain ของสายอากาศเจโพลที่ย่านความถี่ UHF โดยการจำลองด้วยโปรแกรม MMANA-GAL	28
4.12 ตำแหน่งจุดบ่อนสัญญาณของสายอากาศเจโพล	29
4.13 สดับที่ใช้ในการปรับค่าแมตซ์ของสายอากาศ	30
4.14 สายอากาศเจโพลสำหรับโทรศัพท์มือถือที่สร้างเสร็จสมบูรณ์	31

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผลของโครงการวิจัย

เนื่องจากปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีระบบการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์แบบดิจิทัลกำลังได้รับความนิยมและมีการศึกษาวิจัยเป็นจำนวนมาก ในส่วนของระบบการสื่อสารไร้สาย สิ่งที่มีความสำคัญต่อระบบนั้นคือ สายอากาศ (Antenna) โดยส่วนมากการออกแบบสายอากาศที่ใช้กับการแพร่กระจายคลื่นเพื่อส่งและรับข้อมูล กรณีที่เป็นภาพและเสียงรวมกันนั้น จะมีปัญหาในเรื่องของแบนด์วิธของช่องสัญญาณ ซึ่งค่อนข้างที่จะเป็นปัญหาหลักในการออกแบบสายอากาศ อีกทั้งเรื่องของวัสดุที่จะนำมาสร้างนั้นก็มีความจำเป็นเหมือนกัน ซึ่งจะมีผลต่ออัตราการแพร่กระจายคลื่น

โดยส่วนมากแล้วสายอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงนั้นจะนิยมสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมากปัจจุบันสายอากาศที่มีอัตราขยายและสามารถทนกำลังส่งสูงก็มีราคาแพงมากเช่นกัน อีกทั้งสายอากาศที่นำมาใช้งานเหล่านี้ ก็จะมีหลายประเภทที่มีความแตกต่างกันออกไปรวมทั้งวัสดุที่นำมาใช้สร้างสายอากาศก็มีผลต่อรัศมีการแพร่กระจายของคลื่นที่ได้ทำการส่งออกไป และยังมีค่าแบนด์วิธที่มีความแตกต่างกันออกไป ทำให้ทางคณะผู้วิจัยได้มีแนวความคิดที่จะออกแบบสายอากาศเพื่อลดค่าใช้จ่ายลง โดยให้สามารถเพิ่มอัตราการขยาย มีทิศทางการแพร่กระจายคลื่นรอบตัวและสามารถใช้งานกับการส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัลได้ ซึ่งสายอากาศที่ใช้กันในปัจจุบันนั้นทำจากวัสดุที่มีความทนทานน้อย อายุการใช้งานสั้น แต่ทางคณะผู้วิจัยได้ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีความทนทานต่อสภาพอากาศและยังเพิ่มอายุการใช้งานด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อถ่ายทอดความรู้ที่ได้ทำการวิจัยนำสู่สังคมไทย
- 2) เพื่อให้รู้จักการพัฒนาอุปกรณ์เอาไว้ใช้งานเองได้
- 3) เพื่อศึกษาหลักการทำงานของสายอากาศที่เราได้สร้างขึ้น
- 4) เพื่อนำเอาสายอากาศที่ได้สร้างขึ้น ไปวิจัยและพัฒนาต่อยอดได้
- 5) เพื่อออกแบบสายอากาศที่มีแบนด์วิธตามต้องการ
- 6) เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสายอากาศ สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์แบบดิจิทัล

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ออกแบบสายอากาศเจโพลที่ทำจากวัสดุทองแดง
- 2) ออกแบบสายอากาศเจโพลที่มีแบนด์วิธเท่ากับ 8 MHz
- 3) ออกแบบสายอากาศเจโพลที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง
- 4) ออกแบบสายอากาศเจโพลที่สามารถนำไปติดตั้งใช้งานได้อย่างสะดวก

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1) เตรียมการวิจัยโดยทำการศึกษาข้อมูลและทฤษฎีสายอากาศที่จะทำการสร้าง
- 2) คำนวณและออกแบบสายอากาศ

- 3) จัดซื้ออุปกรณ์สำหรับใช้ในการสร้าง
- 4) สร้างสายอากาศตามที่ได้ออกแบบไว้พร้อมกับการทดสอบ
- 5) จัดทำรายงาน สรุปผลโครงการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การดำเนินงาน	ระยะเวลา											
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. เตรียมงานวิจัยและศึกษาข้อมูล	↔											
2. คำนวณการสร้าง		↔										
3. ออกแบบสายอากาศ				↔								
4. จัดซื้ออุปกรณ์						↔						
5. ดำเนินการสร้างสายอากาศ						↔						
6. ทดสอบ								↔				
7. ประมวลผลและแก้ไข									↔			
8. ทดสอบ											↔	
9. จัดทำรายงาน												↔

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) นำความรู้จากการวิจัยเผยแพร่สู่ประชาชนทั่วไปหรือบุคคลที่สนใจ
- 2) สามารถออกสายอากาศ และนำเอาไปใช้งานในระบบส่งสัญญาณโทรทัศน์แบบดิจิทัล
- 3) มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบและหลักการทำงาน
- 4) สามารถนำเอาสายอากาศที่ได้สร้างขึ้น ไปวิจัยและพัฒนาต่อยอดได้
- 5) สามารถออกแบบสายอากาศที่มีแบนด์วิดท์ 8 MHz
- 6) ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อสายอากาศจากต่างประเทศ

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันระบบการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ระบบดิจิทัลหรือโทรทัศน์ดิจิทัล (Digital Television) เข้ามามีบทบาทสำคัญและได้รับความนิยมอย่างมากวงการเทคโนโลยีการสื่อสารของประเทศ ไทย ซึ่งมีการส่งสัญญาณกระจายโทรทัศน์ไปในเครือข่ายเพื่อให้บริการแก่ผู้ชมที่บ้านหรือที่พักอาศัย

โทรทัศน์ระบบดิจิทัล คือการส่งผ่านของเสียงและวิดีโอโดยสัญญาณดิจิทัลที่มีประสิทธิภาพสูง ทั้งความคมชัดของภาพและเสียง การส่งข้อมูลแบบนี้สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าแบบแอนะล็อก (Analog) ในหนึ่งช่องสัญญาณ จึงเรียกได้อีกอย่างว่า Multicasting การส่งสัญญาณเป็นแบบดิจิทัลจึงทำให้ได้คุณภาพ ของภาพและเสียงดีกว่าด้วย เช่น โทรทัศน์ระบบ HDTV (High Definition Television) ตรงกันข้ามแอนะล็อกก็ใช้กับสัญญาณโทรทัศน์แอนะล็อก หลายประเทศจะเปลี่ยนการรับสัญญาณโทรทัศน์จากระบบแอนะล็อกเป็นโทรทัศน์ระบบดิจิทัล เพื่อออกอากาศโทรทัศน์แบบอะนาล็อกได้ จึงใช้วิทยุคลื่นความถี่เดิมโทรทัศน์แต่เดิมใช้ระบบแอนะล็อก หรือเชิงเส้นทั้งในภาคการส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ แต่ต่อมาเมื่อระบบคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาอย่างกว้างขวางขึ้น จึงได้มีการนำระบบคอมพิวเตอร์นำมาพัฒนาใช้ในการช่วยโทรทัศน์ แต่ต่อมาได้มีผู้สังเกตเห็นว่าหากนำ เทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์มาผสมผสานกับเทคโนโลยีของโทรทัศน์ คงจะเป็นประโยชน์อย่างมหาศาลคอมพิวเตอร์นั้นใช้ส่งสัญญาณ และรับสัญญาณในระบบดิจิทัล ดังนั้น จึงได้ปรับปรุงโทรทัศน์ให้ใช้ระบบดิจิทัลด้วย [1]

จากนั้นทางสำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กทช.) ซึ่งต่อมาได้มีการเปลี่ยนแปลงมาเป็นสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) ได้ทำการศึกษาถึงมาตรฐานการส่งสัญญาณโทรทัศน์ระบบดิจิทัล โดยได้ข้อสรุปว่า ประเทศไทยควรนำมาตรฐานโทรทัศน์ดิจิทัลระบบ DVB-T (Digital Video Broadcasting - Terrestrial) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและมีการใช้งานแพร่หลายมากที่สุดในโลก [2]

2.2 การทบทวนวรรณกรรม (Literature review)

สายอากาศแบบเจโพล (J-Pole) เป็นสายอากาศที่นิยมใช้งานสำหรับระบบการแพร่กระจายคลื่นวิทยุสำหรับนักวิทยุสมัครเล่น (Amateur radio) ในช่วงย่านความถี่ระหว่าง 144.000 MHz ถึง 146.000 MHz และยังสามารถนำมาสร้างเพื่อใช้งานในการส่งคลื่นวิทยุกระจายเสียง หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาและถูกนำมาใช้กับระบบโทรทัศน์ดิจิทัลกันอย่างแพร่หลาย [3-10] จากที่ผ่านมาทางคณะผู้วิจัยได้ผลิตสายอากาศขึ้นเพื่อออกจำหน่าย สายอากาศที่ทางคณะผู้วิจัยได้สร้างนั้นเป็นสายอากาศแบบเจโพล (J-Pole) ที่ย่านความถี่ VHF (Very High Frequency) โดยใช้วัสดุเป็นท่อทองแดงและออกแบบให้มีการสะท้อนกลับของคลื่นที่มีค่าน้อยที่สุดและยังมีอัตราการขยายที่สูง

ทางคณะผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลพบว่าการส่งชื่อสายอากาศแบบสำเร็จรูปที่มีการนำเข้ามาจากต่างประเทศนั้น ต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญตรงนี้และได้ทำการวิจัยพร้อมกับออกแบบสร้างสายอากาศแบบเจโพล สำหรับระบบการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ดิจิทัลรองรับแบนด์วิดท์ที่กว้าง ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานระบบ DVB-T โดยสร้างจากวัสดุที่หาได้ง่ายตามท้องตลาดและทนทานต่อสภาพอากาศ ทำให้อายุการใช้งานที่นานเพิ่มขึ้น ลดเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยลงเพื่อให้ลดภาระในส่วนนี้

บทที่ 3

ทฤษฎีพื้นฐานและการประยุกต์ใช้งานสายอากาศ

สายอากาศคืออุปกรณ์ที่ใช้ส่งพลังงานในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งที่มีข้อมูล ไปยังที่ ๆ ต้องการข้อมูล โดยใช้อากาศเป็นตัวกลาง หรือที่เรียกว่าการเชื่อมต่อแบบไร้สาย อาจกล่าวได้ว่าการเชื่อมต่อที่ไร้สายนั้นจำเป็นต้องมีสายอากาศไว้ใช้งานเสมอ เดิมสายอากาศเรียกว่าเสาอากาศ เพราะลักษณะที่เป็นรูปเสา และการคั่นเคຍโดยส่วนใหญ่กับรูปแบบของเสาอากาศโทรทัศน์ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและเนื้อหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสายอากาศ ดังนี้ [11]

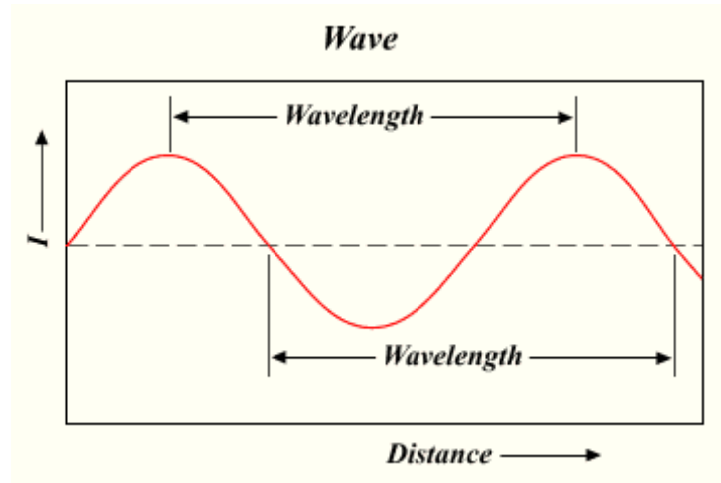
สายอากาศ อุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่นความถี่วิทยุ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และในทางกลับกัน ก็เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นกันสายอากาศมีหลายขนาดและรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น สายอากาศสำหรับเครื่องรับโทรทัศน์ในบ้าน ส่วนใหญ่เป็นสายอากาศชนิด ยากิ-อูตะ มักติดตั้งไว้บนหลังคา ทำด้วยอะลูมิเนียม เพราะน้ำหนักเบาและทนต่อสภาพอากาศได้ดีกว่าโลหะทั่วไป สายอากาศของไม้คัลลอย เป็นเพียงสายไฟสั้น ๆ หรือสายอากาศของโทรศัพท์มือถือ เป็นเพียงจุดเชื่อมต่อเล็ก ๆ เท่านั้น คำว่าสายอากาศ เป็นศัพท์เฉพาะด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ บัญญัติขึ้นจากคำศัพท์ในภาษาอังกฤษ "Antenna" หรือ "Aerial" ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์อาจเขียนอักษรย่อ Ant. อย่างไรก็ตาม บุคคลทั่วไปนิยมเรียกว่า เสาอากาศ อาจจะเป็นเพราะเดิมใช้เสาสูง ๆ สำหรับติดตั้งสายอากาศนั่นเอง [12]

สายอากาศแบ่งตามรูปแบบการรับ-ส่งคลื่นได้ดังนี้

- สายอากาศแบบรอบตัว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีในทุกทิศทางเฉลี่ยกันไปโดยรอบ
- สายอากาศแบบกึ่งรอบตัว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีเกือบรอบตัวแต่มีอัตราขยายสูงกว่าแบบรอบตัว
- สายอากาศแบบทิศทางเดียว สามารถรับ-ส่งคลื่นได้ดีในทิศทางที่กำหนดและจะมีอัตราขยาย (Gain) สูงกว่าประเภทอื่น

3.1 ความถี่และความยาวคลื่น

เรานิยมแบ่งคลื่นวิทยุออกเป็นย่านความถี่ต่าง ๆ โดยมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz) ในประวัติศาสตร์การวิทยุ เราแบ่งคลื่นวิทยุตามความยาวคลื่น (Wavelength) ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความยาวคลื่นดังแสดงในภาพที่ 3.1 ดังนี้ [13]



ภาพที่ 3.1 คลื่นรูปไซน์ ความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับระยะห่างระหว่างยอดคลื่น [14]

ตารางที่ 3.1 ย่านความถี่และความยาวคลื่น

ย่านความถี่	ความถี่	ความยาวคลื่น
Very Low Frequency (VLF)	ต่ำกว่า 30 kHz	ยาวกว่า 10 km
Low Frequency(LF)	30-300 kHz	10-1 km
Medium Frequency(MF)	300-3000 kHz	1000-100 m
High Frequency (HF)	3-30 MHz	100-10 m
Very High Frequency (VHF)	30-300 MHz	10-1 m
Ultra High Frequency (UHF)	300-3000 MHz	100-10 cm
Super High Frequency (SHF)	3-30 GHz	10-1 cm
Extremely High Frequency (EHF)	30-300 GHz	10-1 mm

3.1.1 ความเร็วของพลังงานความถี่วิทยุ (Radio Frequency)

ขณะเคลื่อนที่ผ่านอวกาศ จะมีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสง ฉะนั้นความเร็วของพลังงาน (V) ของความถี่วิทยุ เท่ากับ 300,000,000 เมตร/วินาที หรือ 186,000 ไมล์ (892,000,000 ฟุต) / วินาที

3.1.2 ความยาวคลื่น, ความยาวคลื่นของพลังงานความถี่วิทยุ ณ ความถี่ใด ๆ

คือระยะในอวกาศจากจุดเริ่มต้นของ CYCLE หนึ่งไปยังจุดเริ่มต้นของ CYCLE ถัดไป สัญลักษณ์ของความยาวคลื่นเป็นภาษกรีก เรียกว่า LAMBDA (λ), ความยาวคลื่นหาได้จากกฎเบื้องต้น คือ $\lambda = v/f$

1) การหาความยาวคลื่นเป็นเมตร

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวคลื่นเป็นเมตร} &= 300,000,000/f \text{ ในหน่วย HERTZ (Hz) หรือ} \\
 &= 300,000/f \text{ ในหน่วย Kilo Hertz (KHz) หรือ} \\
 &= 300/f \text{ ในหน่วย Mega Hertz (MHz)}
 \end{aligned}$$

เช่น ตัวอย่าง $f = 60 \text{ MHz}$ จึงได้ $300/60 = 5 \text{ เมตร}$

2) การหาความยาวคลื่นเป็นฟุต

$$\begin{aligned}\text{ความยาวคลื่นเป็นฟุต} &= 982,000,000/f \text{ (Hz) หรือ} \\ &= 982,000/f \text{ (KHz) หรือ} \\ &= 982/f \text{ (MHz)}\end{aligned}$$

เช่น ตัวอย่าง $f = 60 \text{ MHz}$ จะได้ $982/60 = 16.4$ ฟุต

3.1.3 ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น (HALF-WAVELENGTH) ($\lambda/2$)

เป็นปัจจัยสำคัญในการคำนวณ และการวัดสายอากาศ ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น (Half-Wavelength) หรือสายอากาศแบบครึ่งความยาวคลื่น (Half-Wave) ใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบ

1) การวัดความยาวของสายอากาศ

ก) การหา Half-Wavelength เป็นเมตร

$$\begin{aligned}\lambda/2 \text{ เป็นเมตร} &= 150,000,000/f \text{ (Hz) หรือ} \\ &= 150,000 \text{ (KHz) หรือ} \\ &= 150/f \text{ (MHz)}\end{aligned}$$

เช่น ตัวอย่าง $f = 60 \text{ MHz}$ ฉะนั้น $\lambda/2 = 150/60 = 2.5$ เมตร

ข) การหา Half-Wavelength เป็นฟุต

$$\begin{aligned}\lambda/2 \text{ เป็นฟุต} &= 492,000,000/f \text{ (Hz) หรือ} \\ &= 492,000/f \text{ (KHz) หรือ} \\ &= 492/f \text{ (MHz)}\end{aligned}$$

เช่น ตัวอย่าง $f = 60 \text{ MHz}$ ฉะนั้น $\lambda/2 = 492/60 = 8.2$ ฟุต

3.1.4 เศษหนึ่งส่วนสี่ความยาวคลื่น (Quarter-Wavelength) ($\lambda/4$)

เป็นปัจจัยสำคัญอีกอันหนึ่งในการคำนวณสายอากาศ

ก) การหา Quarter-Wavelength เป็นเมตร

$$\begin{aligned}\lambda/4 \text{ เป็นเมตร} &= 75,000,000/f \text{ (Hz) หรือ} \\ &= 75,000/f \text{ (KHz) หรือ} \\ &= 75/f \text{ (MHz)}\end{aligned}$$

เช่น ตัวอย่าง $f = 60 \text{ MHz}$ ฉะนั้น $\lambda/4 = 75/60 = 1.25$ เมตร

ข) การหา Quarter-Wavelength เป็นฟุต

$$\begin{aligned}\lambda/4 \text{ เป็นฟุต} &= 246,000,000/f \text{ (Hz) หรือ} \\ &= 246,000/f \text{ (KHz) หรือ} \\ &= 246/f \text{ (MHz)}\end{aligned}$$

เช่น ตัวอย่าง $f = 60 \text{ MHz}$ ฉะนั้น $\lambda/4 = 246/60 = 4.1$ ฟุต

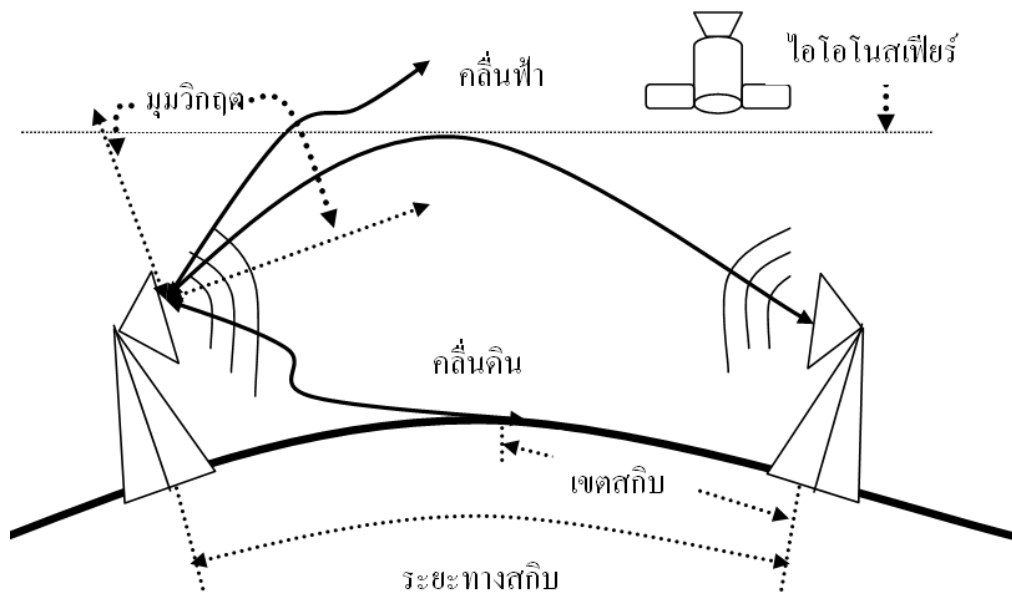
3.2 ประเภทของคลื่นวิทยุ [15]

คลื่นวิทยุที่กระจายออกจากสายอากาศจะเดินทางไปทุกทิศทาง ในทุกระนาบการกระจายคลื่นนี้มีลักษณะเป็นการขยายตัวของพลังงานออกเป็นทรงกลม ถ้าจะพิจารณาในส่วน of พื้นที่แทนหน้าคลื่นจะเห็นได้ว่ามันพุ่งออกไปเรื่อย ๆ จากจุดกำเนิด และสามารถเขียนแนวทิศทางการเดินทางของหน้าคลื่นได้ด้วยเส้นตรง

หรือเส้นรังสี เส้นรังสีที่ลากจากสายอากาศออกไปจะทำมุมกับระนาบแนวนอนมุมนี้เรียกว่ามุมแผ่คลื่น อาจมีค่าเป็นบวก (มุมเงย) หรือมีค่าเป็นลบ (มุมกดลง) ก็ได้ มุมของการแผ่คลื่นนี้อาจนำมาใช้เป็นตัวกำหนดประเภทของคลื่นวิทยุได้

คลื่นวิทยุมีความถี่อยู่ในช่วง $10^4 - 10^9$ Hz คลื่นช่วงนี้ใช้ในการส่งข่าวสารและสาระบันเทิงไปยังผู้รับ โดยการส่งคลื่นวิทยุระบบเอเอ็มจะใช้คลื่นที่มีความถี่ขนาด 530 - 1600 KHz และยังมีคลื่นที่อยู่ในช่วงความถี่ต่ำลงไปอีกเรียกว่า *คลื่นยาว* และคลื่นที่อยู่ในช่วงความถี่สูงขึ้นไปเรียกว่า *คลื่นสั้น* ด้วย ส่วนการส่งคลื่นในระบบเอฟเอ็มจะอยู่ในช่วงความถี่ 88 - 108 MHz ซึ่งระบบการส่งคลื่นแบบเอเอ็มกับเอฟเอ็มจะต่างกันที่วิธีการผสมคลื่น ดังนั้นจึงทำให้เครื่องรับวิทยุแต่ละแบบไม่สามารถรับคลื่นวิทยุของอีกแบบหนึ่งได้ คลื่นวิทยุสมบัติที่น่าสนใจอีกประการหนึ่ง คือ สามารถหักเหและสะท้อนได้ที่บรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ บรรยากาศในชั้นนี้ประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อคลื่นวิทยุเคลื่อนที่มาถึงจะสะท้อนกลับสู่ผิวโลกอีก สมบัติข้อนี้ทำให้สามารถใช้คลื่นวิทยุในการสื่อสารเป็นระยะทางไกลๆได้ แต่ถ้าเป็นคลื่นวิทยุที่มีความถี่สูงขึ้น การสะท้อนดังกล่าวจะมีได้น้อยลงตามลำดับการส่งกระจายเสียงด้วยคลื่นวิทยุ ระบบเอเอ็มสามารถเคลื่อนที่ไปได้ 2 ทางคือ ในระดับสายตาเรียกว่า *คลื่นดิน* (Ground Wave) และการสะท้อนกลับลงมาจากบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ เรียกว่า *คลื่นฟ้า* (Sky Wave) ตามภาพที่ 3.2 ส่วนคลื่นวิทยุระบบเอเอ็มซึ่งมีความถี่สูงกว่าจะมีการสะท้อนในชั้นไอโอโนสเฟียร์ได้น้อย

พลังงานคลื่นวิทยุส่วนใหญ่จะเดินทางอยู่ใกล้ ๆ ผิวโลกหรือเรียกว่าคลื่นดิน ซึ่งคลื่นนี้จะเดินทางไปตามส่วนโค้งของโลก คลื่นอีกส่วนที่ออกจากสายอากาศ ด้วยมุมแผ่คลื่นเป็นค่าบวก จะเดินทางจากพื้นโลกพุ่งไปยังบรรยากาศจนถึงชั้นเพดานฟ้าและจะสะท้อนกลับลงมายังโลกนี้เรียกว่า คลื่นฟ้า

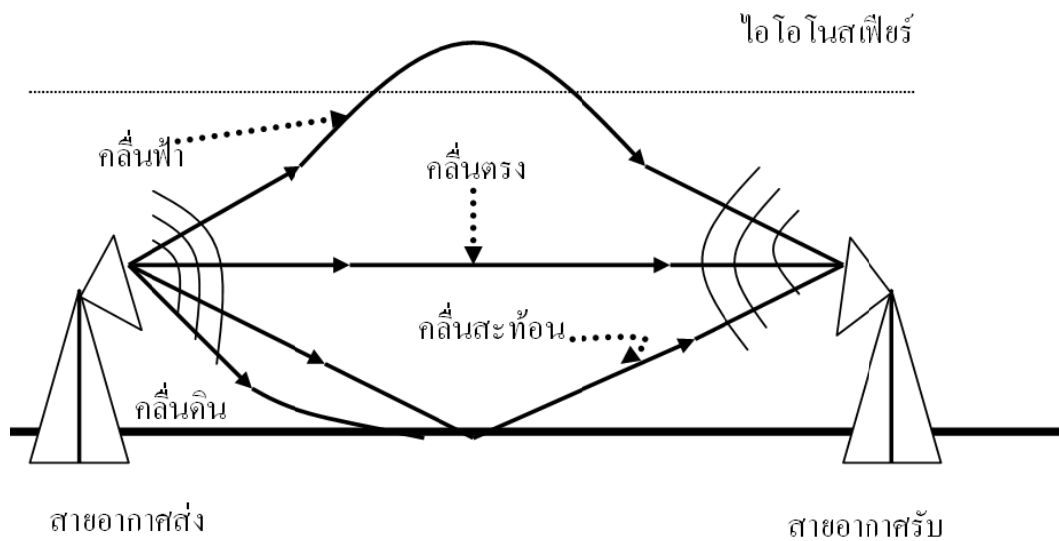


ภาพที่ 3.2 คลื่นฟ้าและคลื่นดิน

ดังนั้นถ้าต้องการส่งกระจายเสียงด้วยระบบเอเอ็มให้ครอบคลุมพื้นที่ไกล ๆ จึงต้องมีสถานีถ่ายทอดเป็นระยะและผู้รับต้องตั้งสายอากาศสูง ๆ ในขณะที่คลื่นวิทยุเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางที่มีขนาดใกล้เคียงกับความยาวคลื่นจะเกิดการเลี้ยวเบนทำให้คลื่นวิทยุอ้อมผ่านไปได้ แต่ถ้าสิ่งกีดขวางมีขนาดโต

มาก ๆ เช่น ภูเขา คลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นสั้นจะไม่สามารถอ้อมผ่านไปได้ ทำให้ด้านตรงข้ามของภูเขาเป็นจุดอับของคลื่นโลหะมีสมบัติในการสะท้อนและดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดีดังนั้นคลื่นวิทยุจะทะลุผ่านเข้าไปถึงตำแหน่งภายในโครงสร้างที่ประกอบด้วยโลหะได้ยาก เช่น เมื่อฟังวิทยุในรถยนต์ขณะแล่นผ่านเข้าไปในสะพานที่มีโครงสร้างเป็นเหล็ก เสียงวิทยุจะเบาลงหรือเงียบหายไป

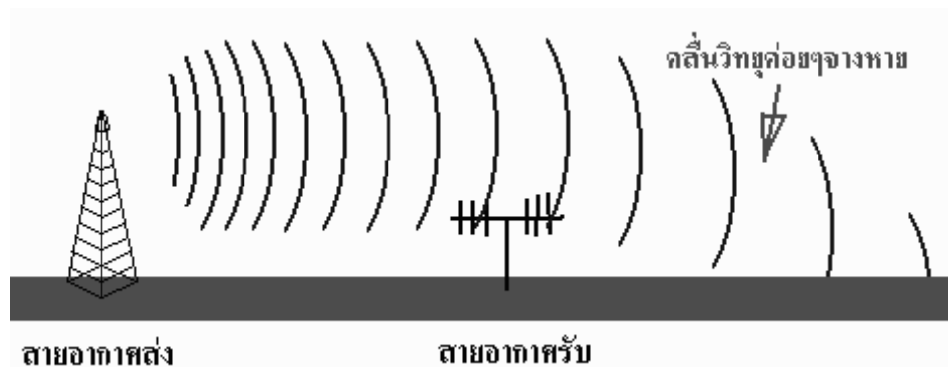
องค์ประกอบของคลื่น แบ่งออกเป็น 4 องค์ประกอบด้วยกัน คือ คลื่นผิวดิน (Surface Wave) คลื่นสะท้อนดิน (Ground Reflected Wave) และคลื่นหักเหโทรโปสเฟียร์ (Reflected Troposphere Wave) ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 องค์ประกอบของคลื่น

3.2.1 คลื่นผิวดิน

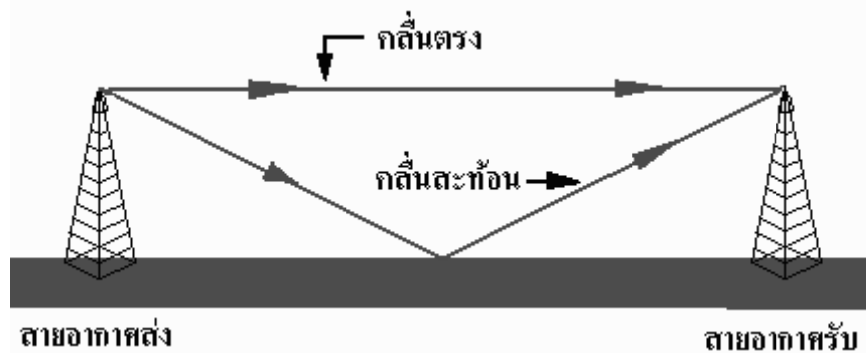
หมายถึง คลื่นที่เดินตามไปยังผิวโลกอาจเป็นผิวดิน หรือผิวน้ำก็ได้ พิสัยของการกระจายคลื่นชนิดนี้ขึ้นอยู่กับค่าความนำทางไฟฟ้าของผิวที่คลื่นนี้เดินทางผ่านไป เพราะค่าความนำจะเป็นตัวกำหนดการดูดกลืนพลังงานของคลื่นผิวโลก การดูดกลืนของคลื่นผิวนี้อจะเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่สูงขึ้น



ภาพที่ 3.4 การแพร่กระจายคลื่นพื้นผิว (Surface Wave) ของคลื่น

3.2.2 คลื่นตรง

หมายถึง คลื่นที่เดินทางออกไปเป็นเส้นตรงจากสายอากาศ ส่งผ่านบรรยากาศตรงไปยังสายอากาศรับโดยมิได้มีการสะท้อนใด ๆ



ภาพที่ 3.5 ทิศทางของคลื่นตรง และคลื่นที่สะท้อนจากผิวโลก

3.2.3 คลื่นหักเหโทรโปสเฟียร์

หมายถึง คลื่นหักเหในบรรยากาศชั้นต่ำของโลกที่เรียกว่า โทรโปสเฟียร์ การหักเหไม่ใช่เป็นการหักเหแบบปกติที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศของโลกกับความสูง แต่เป็นการหักเหที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศอย่างทันทีทันใด และไม่สม่ำเสมอของความหนาแน่นและในความชื้นของบรรยากาศ ได้แก่ ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า อุณหภูมิแปรกลับ

3.3 ความยาวสายอากาศ

ความยาวของสายอากาศนั้นเราจะต้องพิจารณาถึง 2 ประการ คือ ความยาวทาง Physical และความยาวทาง Electrical ความยาวทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวแล้วจะไม่เป็นอย่างเดียวกัน ความยาวทาง Physical ของ Half-Wave ของสายอากาศที่ไม่มี Load จะแปรเปลี่ยนจาก 92% ถึง 97% ของความยาวทาง Electrical ของ Half-Wave ในอวกาศ ความเร็วของคลื่นที่ลดลงของสายอากาศกับ Capacitive Effective (เรียกกันว่า End Effect) ทำให้สายอากาศมีความยาวเกินกว่าที่เป็นจริง Contributing Factors คือ อัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางของสายอากาศกับความยาวของสายอากาศนั้น ๆ ความจุระหว่างปลายสายอากาศ และผลของความจุของอุปกรณ์ปลายสายอากาศ (ฉนวนหรือตัวยึดอื่น ๆ) ที่ทำให้สายอากาศโยงยึดอยู่ได้

- 1) การคำนวณความยาวทาง Physical ของสายอากาศให้ใช้ตัว 0.95 สำหรับความถี่ระหว่าง 3.0 และ 50.0 MHz ตัวเลขที่ให้ไว้ส่วนล่างต่อไปนี้ใช้สำหรับสายอากาศแบบ Half-Wave

ความยาว (Feet)	= $492 \times 0.95 / \text{ความถี่เป็น MHz}$
	= $468 / \text{ความถี่เป็น MHz}$
ความยาว (Meters)	= $150 \times 0.95 / \text{ความถี่เป็น MHz}$
	= $142.5 / \text{ความถี่เป็น MHz}$

- 2) สำหรับความถี่สูงกว่า 50 MHz การคำนวณความยาวทาง Physical ของสายอากาศสำหรับความถี่สูงกว่า 50 MHz ให้ใช้ตัวแก้ 0.94 ตัวเลขที่ให้ไว้ข้างล่างนี้สำหรับสายอากาศแบบ Half-Wave

$$\begin{aligned}\text{ความยาว (Feet)} &= 492 \times 0.94 / \text{ความถี่เป็น MHz} \\ &= 462 / \text{ความถี่เป็น MHz}\end{aligned}$$
- 3) ความยาวของสายอากาศชนิด Long Wire (หนึ่ง Wavelength หรือยาวกว่า) สำหรับ Harmonic Operation คำนวณด้วยการใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\text{ความยาว (Feet)} &= 492 \times (N-0.05) / \text{ความถี่เป็น MHz} \\ \text{เมื่อ } N &= \text{จำนวน Half-Wavelength ในความยาวทั้งหมดของสายอากาศ}\end{aligned}$$
- 4) ในส่วนของข้างบนนี้ สำหรับย่านความถี่ VHF และ UHF จะเป็นการสะดวกถ้าเราจะคิดคำนวณ Half-Wavelength ของสายอากาศเป็นนิ้ว ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\lambda / 2 \text{ In Inches} &= 5540 / f \text{ (MHz)} \\ \text{Quarter-Wavelength ของสายอากาศเป็นนิ้ว โดย} \\ \lambda / 4 &= 2272 / f \text{ (MHz)}\end{aligned}$$

3.4 คุณสมบัติและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสายอากาศ [16]

สายอากาศชนิดต่าง ๆ ที่มีการใช้งานอยู่ทั่วไปมีคุณสมบัติและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องพิจารณาประกอบการประเมินประสิทธิภาพของสายอากาศเพื่อช่วยในการตัดสินใจและประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับงานต่าง ๆ มากมาย โดยมีส่วนสำคัญ ดังนี้

3.4.1 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio)

อัตราส่วนระหว่างแรงดันค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดในคลื่นนิ่งเรียกว่า อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio: VSWR) ดังสมการที่ (3.1)

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3.1)$$

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} \quad (3.2)$$

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน (Voltage Reflection Coefficients) สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน ยังสามารถหาได้จากอัตราส่วนผลต่างและผลรวมระหว่างโวลตกับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ ดังสมการที่ (3.2)

Γ คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับของแรงดัน (Voltage Reflection Coefficients)

V_r คือ แรงดันสะท้อนกลับ

V_i คือ แรงดันตกกระทบ

Z_L คือ โหลดอิมพีแดนซ์

Z_o คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ

ในกรณีที่ต่อไว้ด้วยแมตชิ่งโหลดนั้นค่า VSWR เป็น 1 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด

3.4.2 การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss)

การสูญเสียเนื่องย้อนกลับของสายอากาศแสดงค่ากำลังที่สูญเสียที่โหลด เมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่งและสายอากาศไม่แมตช์กัน การสูญเสียย้อนกลับมีความสัมพันธ์กับ VSWR ซึ่งเป็นการแสดงการแมตช์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายส่งกับสายอากาศตามสมการ โดยการสูญเสียย้อนกลับสามารถหาได้จากสมการที่ (3.3)

$$S_{11} = -20 \log_{10} |\Gamma| \text{ (dB)} \quad (3.3)$$

สำหรับการแมตช์อิมพีแดนซ์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายส่งและสายอากาศ เมื่อ $\Gamma = 0$ ค่าความสูญเสียย้อนกลับเป็นอนันต์ แสดงว่าไม่มีกำลังงานสะท้อนกลับ ในทำนองเดียวกันเมื่อ $\Gamma = 1$ ค่าความสูญเสียย้อนกลับจะเป็น 0 dB ซึ่งแสดงว่ากำลังงานสะท้อนกลับหมด

3.4.3 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)

ประสิทธิภาพของสายอากาศเป็นพารามิเตอร์ที่รวมประสิทธิภาพการสูญเสียที่สายอากาศและในโครงสร้างของสายอากาศ การสูญเสียต่าง ๆ หาได้จาก

- การสะท้อนกลับเนื่องจากการไม่แมตช์กันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ
- การสูญเสียจากตัวนำและฉนวน

ประสิทธิภาพรวมของสายอากาศสามารถเขียนเป็นสมการที่ (3.4)

$$e_t = e_r e_c e_d \quad (3.4)$$

e_t ประสิทธิภาพทั้งหมดของสายอากาศ

$e_r = (1 - |\Gamma|^2)$ ประสิทธิภาพการสะท้อนกลับเนื่องจากการไม่แมตช์กัน

e_c ประสิทธิภาพของตัวนำ

e_d ประสิทธิภาพของฉนวน (dielectric)

โดยทั่วไป e_c และ e_d จะรวมเป็นตัวเดียวกันตามสมการที่ (3.5)

$$e_{cd} = e_c e_d = \frac{R_r}{R_r + R_L} \quad (3.5)$$

R_r ความต้านทานจากการแผ่พลังงานคลื่นออกไป

R_L ความต้านทานที่โหลด

3.4.4 สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ไดเรกติวิตีเป็นการบอกความสามารถเชิงทิศทางของสายอากาศ เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มของการแผ่พลังงานในทิศทางที่สนใจกับความเข้มของการแผ่พลังงานโดยเฉลี่ย เมื่อมีการแผ่พลังงานออกไปรอบทิศทางอย่างเท่าเทียมกันโดยไม่คิดกำลังงานส่วนที่สูญเสียไปดังสมการที่ (3.6) และสมการที่ (3.7)

$$D = \frac{U}{U_i} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (3.6)$$

D คือ สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

U คือ ความเข้มของการแผ่กำลังงาน

U_i คือ ความเข้มของการแผ่กำลังงานเฉลี่ย

P_{rad} คือ กำลังงานที่สายอากาศแผ่ออกไป

โดยทั่วไปถ้าไม่กำหนดทิศทางใช้สภาพเจาะจงทิศทางในทิศที่สายอากาศแผ่พลังงานได้ดีที่สุด

$$D_0 = \frac{U_{max}}{U_i} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (3.7)$$

3.4.5 อัตราขยายของสายอากาศ (Gain)

อัตราขยายของสายอากาศเป็นความสัมพันธ์ที่ได้จากไดเรกทิวิตี โดยรวมประสิทธิภาพของสายอากาศเข้ามาด้วย ในขณะที่ไดเรกทิวิตีแสดงคุณสมบัติในการชี้ทิศทางของสายอากาศเท่านั้น การคิดอัตราขยายของสายอากาศ วัดเทียบกับสายอากาศอ้างอิง โดยอัตราขยายของสายอากาศส่ง คือ กำลังสองของอัตราส่วนระหว่างความเข้มสนามตามทิศที่มีการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุดเมื่อเทียบกับความเข้มสนามที่จุดเดียวกันของสายอากาศอ้างอิง หรือแสดงในรูปของอัตราส่วนของค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการส่งของสายอากาศทั้งสอง เพื่อให้เกิดความเข้มสนามขนาดเท่ากัน (ณ จุดเดียวกัน) ในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นมากที่สุด หรืออัตราขยายของสายอากาศรับ คือ อัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มการแผ่พลังงานของสายอากาศทดสอบกับสายอากาศอ้างอิง ณ จุดตั้งสายอากาศที่เดียวกัน

การใช้สายอากาศอ้างอิงมักเป็นแบบไดโพลขนาด $\lambda/2$ หรือแบบไอโซโทรปิก (Isotropic) ซึ่งมีลักษณะพิเศษ คือ กระจายคลื่นได้รอบตัวทุกทิศในปริมาณที่เท่ากัน

อัตราขยายกำลัง (Power Gain) ของสายอากาศ ในทิศทางที่กำหนดให้ นั้นมีค่าเท่ากับ 4π คูณอัตราส่วนของความเข้มของการแพร่กระจายคลื่นในทิศทางนั้น ต่อ (หาร) กำลังงานสุทธิที่สายอากาศรับจากหัวต่อของเครื่องส่งเมื่อไม่กำหนดทิศทางไว้ โดยทั่วไปคิดอัตราขยายกำลังในทิศทางที่มีการแพร่กระจายคลื่นแรงที่สุดตามสมการที่ (3.8)

$$Gain = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (3.8)$$

โดยทั่วไปอัตราขยายสัมพัทธ์ เป็นอัตราส่วนของอัตราขยายกำลังในทิศทางที่กำหนดให้ ต่ออัตราขยายกำลังของสายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบในทิศทางนั้น โดยกำลังงานที่ป้อนเข้าสายอากาศทั้งสองนั้นต้องเท่ากัน สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบเป็นสายอากาศไดโพล สายอากาศปากแตร หรือสายอากาศอื่น ๆ ซึ่งคำนวณอัตราขยายได้ง่ายหรือรู้ค่าอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตามโดยส่วนใหญ่สายอากาศที่ใช้เปรียบเทียบเป็นไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย ดังนั้นจึงได้เป็นสมการที่ (3.9)

$$G_g = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (3.9)$$

เมื่อ P_{in} คือ กำลังงานที่ป้อนให้กับไอโซโทรปิกพอยท์ซอร์สที่ไม่มีการสูญเสีย
กำลังงานที่แพร่กระจายทั้งหมด (P_{rad}) สัมพันธ์กับกำลังงานที่ป้อนให้สายอากาศ
(P_{in}) ดังสมการที่ (3.10)

$$P_{rad} = e_r P_{in} \quad (3.10)$$

เมื่อ e_r คือประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ (ไม่มีหน่วย) ทำให้สมการที่ (3.9)
และ (3.10) มีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ (3.11)

$$G_g(\theta, \phi) = \frac{[4\pi U(\theta, \phi)]}{P_{rad}} \quad (3.11)$$

และมีความสัมพันธ์กับอัตราขยายไดเรกทิฟ ตามสมการที่ (2.12)

$$G_g(\theta, \phi) = e_r D_g(\theta, \phi) \quad (3.12)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าสูงสุดของอัตราขยายจะสัมพันธ์กับไดเรกทิวิตี ดังสมการที่ (3.13)

$$\begin{aligned} G_0 &= G_g(\theta, \phi) \Big|_{\max} \\ &= e_r D_g(\theta, \phi) \Big|_{\max} \\ &= e_r D_0 \end{aligned} \quad (3.13)$$

ในทางปฏิบัติ เมื่อกล่าวถึงอัตราขยายหมายถึงอัตราขยายกำลังที่มีค่าสูงสุด แสดงดังสมการที่ (3.14)

$$G_0(dB) = 10 \log_{10} [e_r D_0] \quad (3.14)$$

3.4.6 อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance)

พิจารณาสายอากาศเสมือนเป็นชิ้นส่วนหนึ่งในวงจรไฟฟ้า เมื่อต่อแหล่งกำเนิด
สัญญาณเพื่อป้อนพลังงานให้กับสายอากาศ พลังงานจะไหลเข้าสู่สายอากาศที่ละน้อยเนื่องจากการต้าน
การไหลของพลังงานที่เรียกว่าอิมพีแดนซ์หรือความต้านทานเชิงซ้อนเกิดขึ้น อิมพีแดนซ์ดังกล่าวจะปรากฏที่
หัวของสายอากาศ เรียกว่าอิมพีแดนซ์ขาเข้า (Z_{in}) ดังสมการที่ (3.15)

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (3.15)$$

X_{in} คือความต้านทานเชิงจินตภาพที่ทำให้เกิดการสะสมของพลังงานในบริเวณสนาม
ใกล้สายอากาศโดยไม่แผ่กระจายออกไป และ R_{in} ประกอบด้วยสองส่วนคือ R_r หมายถึงความต้านทาน

พลังงานคลื่นที่แผ่ออกไปโดยสายอากาศ และ R_L หมายถึงความต้านทานที่โหลด ซึ่งรวมถึงความต้านทานจากการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากความร้อน สารไดอิเล็กตริก และตัวนำ

3.4.7 แบนด์วิดท์ (Bandwidth)

แบนด์วิดท์ของสายอากาศเป็นช่วงของความถี่ที่สามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งช่วงความถี่ถูกกำหนดโดย $VSWR \cong 2$ หรือพิจารณาจากการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) ที่ระดับ -10 dB ดังสมการที่ (3.16) และสมการที่ (3.17)

$$BW_{narrowband} (\%) = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100 \quad (3.16)$$

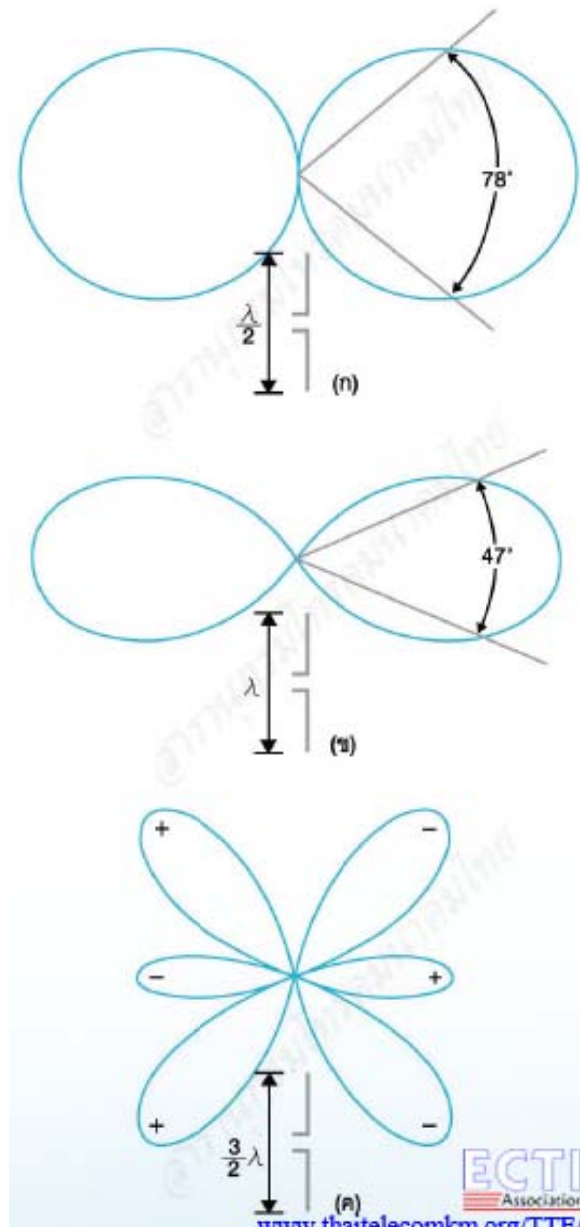
$$BW_{broadband} (\%) = \frac{f_u}{f_l} \times 100 \quad (3.17)$$

เมื่อ BW คือ แบนด์วิดท์ของสายอากาศ
 f_u คือ ขอบความถี่สูงของย่านความถี่
 f_l คือ ขอบความถี่ต่ำของย่านความถี่
 f_c คือ ความถี่กลางของย่านความถี่

3.5 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) [17]

รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจากสายอากาศมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะในขั้นตอนการออกแบบระบบสื่อสารไร้สายเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปแบบของสายอากาศเป็นหลัก

ผลกระทบของขนาดสายอากาศกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นดังตัวอย่าง คือ ถ้านำสายอากาศไดโพลขนาดหนึ่งความยาวคลื่นและสายอากาศไดโพลขนาดครึ่งความยาวคลื่น มาใช้กับคลื่นวิทยุความถี่เดียวกัน ระยะทางที่ประจุไฟฟ้า ใช้ในการเดินทางบนสายอากาศจะแตกต่างกัน ส่งผลให้รูปแบบของสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นระหว่างประจุไฟฟ้าบวก-ลบแตกต่างกัน ลักษณะของสนามไฟฟ้าที่สร้างขึ้นก็คือรูปแบบในการแพร่กระจายคลื่นนั่นเอง

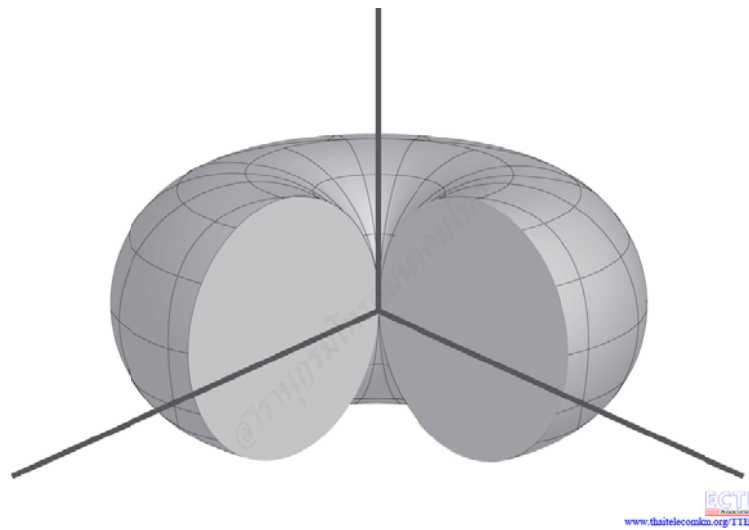


ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไดโพลที่มีขนาดต่างกัน

จากภาพที่ 3.6 แสดงถึงปัจจัยของความยาวสายอากาศกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นโดยสายอากาศแบบครึ่งความยาวคลื่นตามภาพ 3.6(ก) จะมีมุมแพร่กระจายคลื่นในแนวตั้งมากกว่าสายอากาศแบบหนึ่งความยาวคลื่นตามภาพ 3.6(ข) สังเกตได้จาก ค่าองศาของความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half Power Beam Width) แต่สายอากาศแบบหนึ่งความยาวคลื่น สามารถส่งสัญญาณได้ในรัศมีที่ไกลกว่าครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่า ส่วนในกรณีที่เพิ่มความยาวสายอากาศไดโพลขึ้นอีกเป็นสามในสองของความยาวคลื่น รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นจะเปลี่ยนไปดังภาพ 3.6(ค)

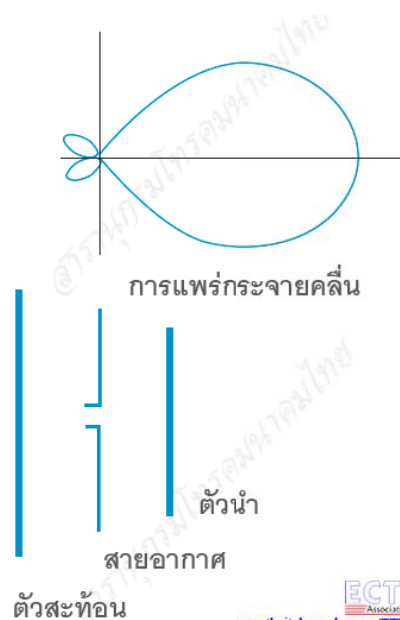
ส่วนผลกระทบของรูปแบบสายอากาศกับรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นตัวอย่างคือสายอากาศไดโพลจะมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นออกไปรอบ ๆ

ตัวสายอากาศ (Omni-directional Pattern) แสดงเป็นภาพสามมิติได้ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แสดงรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัวของสายอากาศไดโพลในแบบสามมิติ

แต่ถ้ามีการปรับแต่งสายอากาศไดโพล โดยเพิ่มเติมตัวสะท้อน (Reflector) และตัวนำ (Director) รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จะเปลี่ยนไปเป็นการแพร่กระจายแบบมีทิศทาง (Directional Pattern) ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายของคลื่นจะมีลักษณะคล้ายกับลูกบอลูน ออกจากปลายสายอากาศทางฝั่งที่ติดตั้งตัวนำ ดังแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แสดงการแพร่กระจายคลื่นแบบมีทิศทาง

สายอากาศลักษณะนี้จะเห็นได้ตามอาคาร และที่พักอาศัยทั่วไป โดยใช้เป็นสายอากาศสำหรับเครื่องรับโทรทัศน์ (ยาก็-อุตะ) ในการติดตั้งจะหันสายอากาศด้านตัวนำ ไปยังทิศที่ตั้งของสถานีส่งสัญญาณโทรทัศน์ เพื่อให้รับสัญญาณได้ชัดเจนที่สุด

3.6 สายอากาศประเภทต่าง ๆ [18]

ในปัจจุบันสายอากาศที่ถูกนำมาใช้งานมีด้วยกันหลายประเภท ทั้งแบบภายใน และภายนอกอาคาร จึงขอยกตัวอย่างคร่าว ๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างและการนำไปใช้งานของสายอากาศประเภทต่าง ๆ ดังนี้

3.6.1 สายอากาศแบบ Omni

เป็นสายอากาศอากาศที่กระจายสัญญาณรอบทิศทาง 360 องศาโดยมากใช้ติดตั้งไว้ นอกอาคารตรงกลางของหน่วยงาน เพื่อให้กระจายสัญญาณได้ครอบคลุมพื้นที่หน่วยงานนั้น ๆ



ภาพที่ 3.9 สายอากาศแบบ Omni [19]

3.6.2 สายอากาศแบบ Direction

- แบบ Flat เป็นสายอากาศแบบบังคับทิศทางที่กำหนดให้กระจายสัญญาณที่ 180 องศา โดยมากใช้ติดตั้งไว้ขอบรั้วของหน่วยงาน เพื่อบังคับให้กระจายสัญญาณเข้าสู่หน่วยงานไม่ให้สัญญาณออกไปนอกบริเวณพื้นที่อื่น



ภาพที่ 3.10 สายอากาศแบบ flat Panel [20]

- ยากิ-อุดะ (Yagi-Uda) สร้างขึ้นเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องของสายอากาศแบบไดโพล ซึ่งเกิดเงาภาพซ้อนได้ง่ายเนื่องจากสัญญาณที่สะท้อนกลับมาจากด้านหลัง สามารถเข้ากับไดโพลได้พอดีกับสัญญาณรับทางด้านหน้า จึงดัดแปลงเพื่อเพิ่ม Reflector ลงไปเพื่อลดสัญญาณที่สะท้อนมาจากด้านหลังให้ต่ำลง

โดยมีส่วนประกอบหลักดังนี้

1. Reflector อยู่ด้านหลังของโพลเดดไดโพล ทำหน้าที่สะท้อนสัญญาณ
2. Director ทำหน้าที่เป็นตัววน าคลื่น
3. Folded Dipole ทำหน้าที่รับสัญญาณ



ภาพที่ 3.11 สายอากาศยากิ-อุดะ [21]

- พาราโบลิค เป็นสายอากาศแบบบังคับทิศทางที่กำหนดให้กระจายสัญญาณได้แคบ ในช่วง 8 ถึง 15 องศา เพื่อให้ส่งสัญญาณได้ระยะทางไกลขึ้น ส่วนใหญ่ใช้เชื่อมต่อสัญญาณเครือข่ายระหว่างอาคาร หรือหน่วยงานเป็นสำคัญมีทั้งแบบ Rectangle (สี่เหลี่ยมผืนผ้า) ที่มีหน้าสัมผัสสัญญาณแบบ Parabolic



ภาพที่ 3.12 สายอากาศพาราโบลิค [22]

- สายอากาศแบบ Wave Guide เป็นสายอากาศรูปทรงกระบอกกลม หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำจากโลหะสะท้อนสัญญาณในพื้นที่ปิดเพื่อให้ความยาวช่วงคลื่นตามที่กำหนด มีลักษณะการส่งสัญญาณแบบมีทิศทาง โดยมากมักจะบังคับทิศทางไว้ประมาณ 30 องศา



ภาพที่ 3.13 สายอากาศแบบ Wave Guide [23]

บทที่ 4

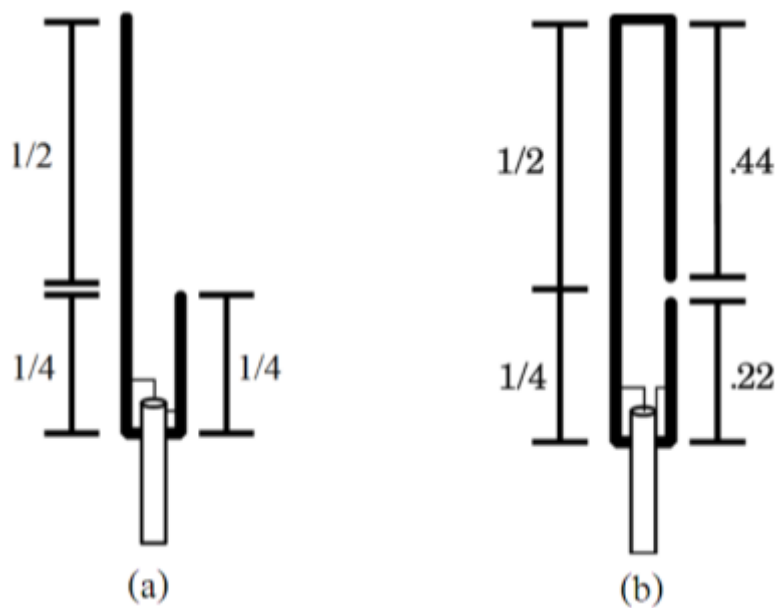
การออกแบบและการสร้างสายอากาศเจโพล

4.1 สายอากาศเจโพล [24]

สายอากาศเจโพลหรือสายอากาศแบบเจ หรือเรียกอีกอย่างว่าสายอากาศ Zepp' (ย่อมาจากคำว่า Zeppelin ที่แปลว่า เรือเหาะหรือบอลลูน) ถูกคิดค้นครั้งแรกโดยชาวเยอรมันสำหรับใช้งานบนบอลลูน [25] คุณสมบัติที่โดดเด่นคือมีค่า VSWR เข้าใกล้ 1 นั้นหมายความว่าทำให้ประสิทธิภาพการแพร่กระจายพลังงานคลื่นเกือบเต็ม 100% ต่อจากนั้นได้กลายเป็นที่นิยมสำหรับผู้ประกอบการวิทยุสมัครเล่นเพราะเนื่องจากจะมีประสิทธิภาพแล้วยังสามารถสร้างได้ง่ายอีกด้วย

สายอากาศเจโพลเป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างดั้งเดิมแบบครึ่งคลื่น ($\lambda/2$) โดยที่มีการป้อนสัญญาณเข้ามาทางปลาย แล้วถูกแมตซ์อิมพีแดนซ์ให้เหมาะสมกับระบบของเครื่องรับหรือเครื่องส่งวิทยุ ด้วยควอเตอร์เวฟสแต็บ ด้วยหน้าความที่โครงสร้างของสายอากาศเหมือนรูปตัว J จึงถูกตั้งชื่อว่าสายอากาศแบบ J

สายอากาศเจโพลเป็นสายอากาศที่มีการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง ซึ่งข้อดีของสายอากาศแบบนี้คือ ไม่ต้องใช้ Ground plan เพราะคุณสมบัติทางไฟฟ้ามันสามารถเรโซแนนซ์ได้อยู่แล้ว และการแผ่คลื่นสูงสุดในแนวราบ ในขณะที่สายอากาศแบบอื่นที่ใช้กราวด์เพลนนั้น การแผ่คลื่นมักจะเอียงขึ้นฟ้า

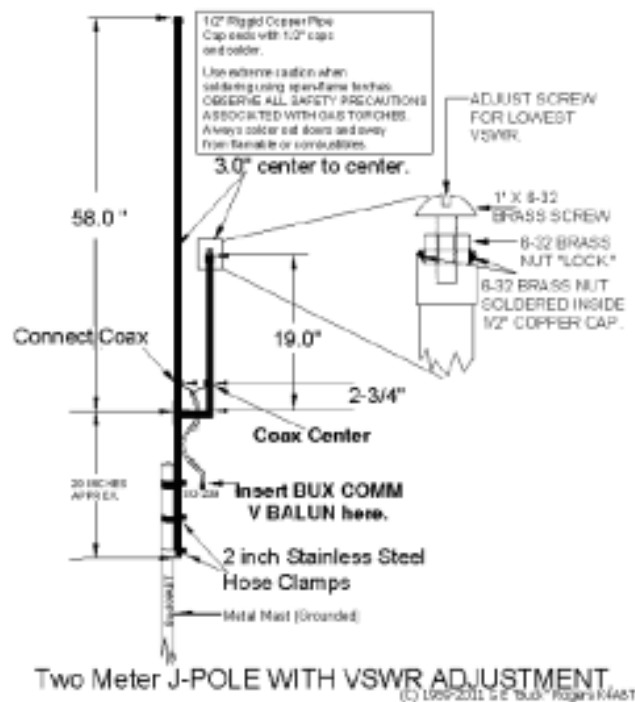


ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างสายอากาศแบบ J (a) สายอากาศเจโพล
(b) สายอากาศสลิมจิม (Slim Jim Antenna)

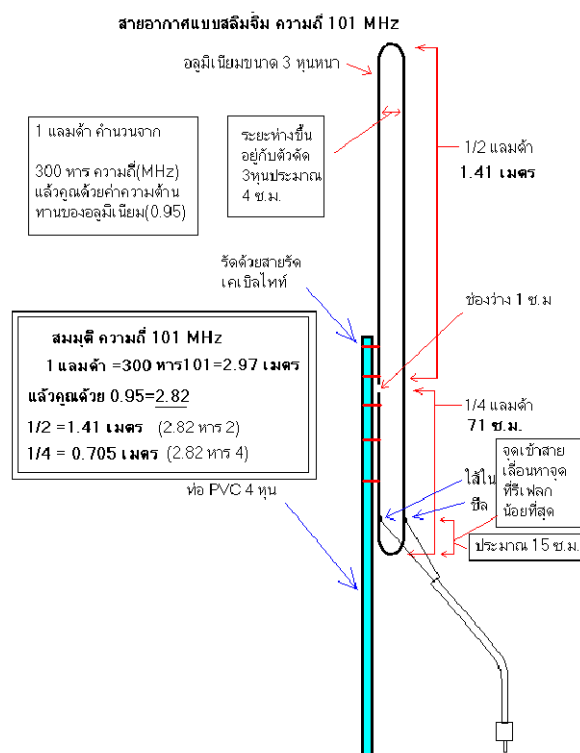
4.2 คุณสมบัติเด่นของสายอากาศเจโพล [26]

- สายอากาศเจโพลสามารถสร้างได้ง่าย
- สายอากาศเจโพลมีแบนด์วิดท์กว้าง

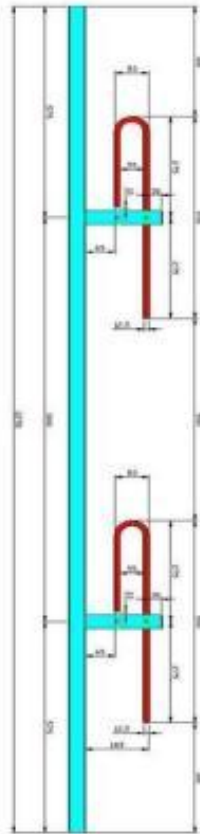
- สายอากาศเจ็พโพลีมีความทนทานต่อสภาพภูมิอากาศภูมิประเทศได้ดี
- สายอากาศเจ็พโพลีมีต้นทุนในการสร้างต่ำ ค่าใช้จ่ายถูก



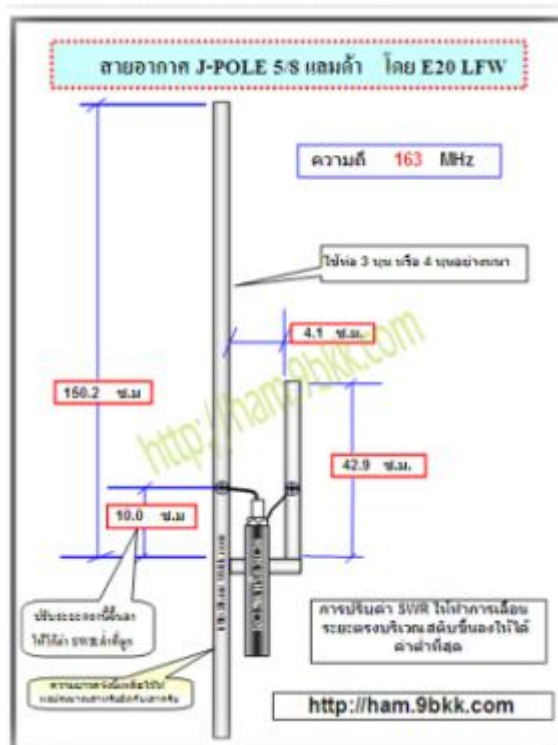
ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างการคำนวณสำหรับการสร้างสายอากาศแบบเจ็พโพลี 2 เมตร



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างการคำนวณสำหรับการสร้างสายอากาศแบบสลิมจิม [27]



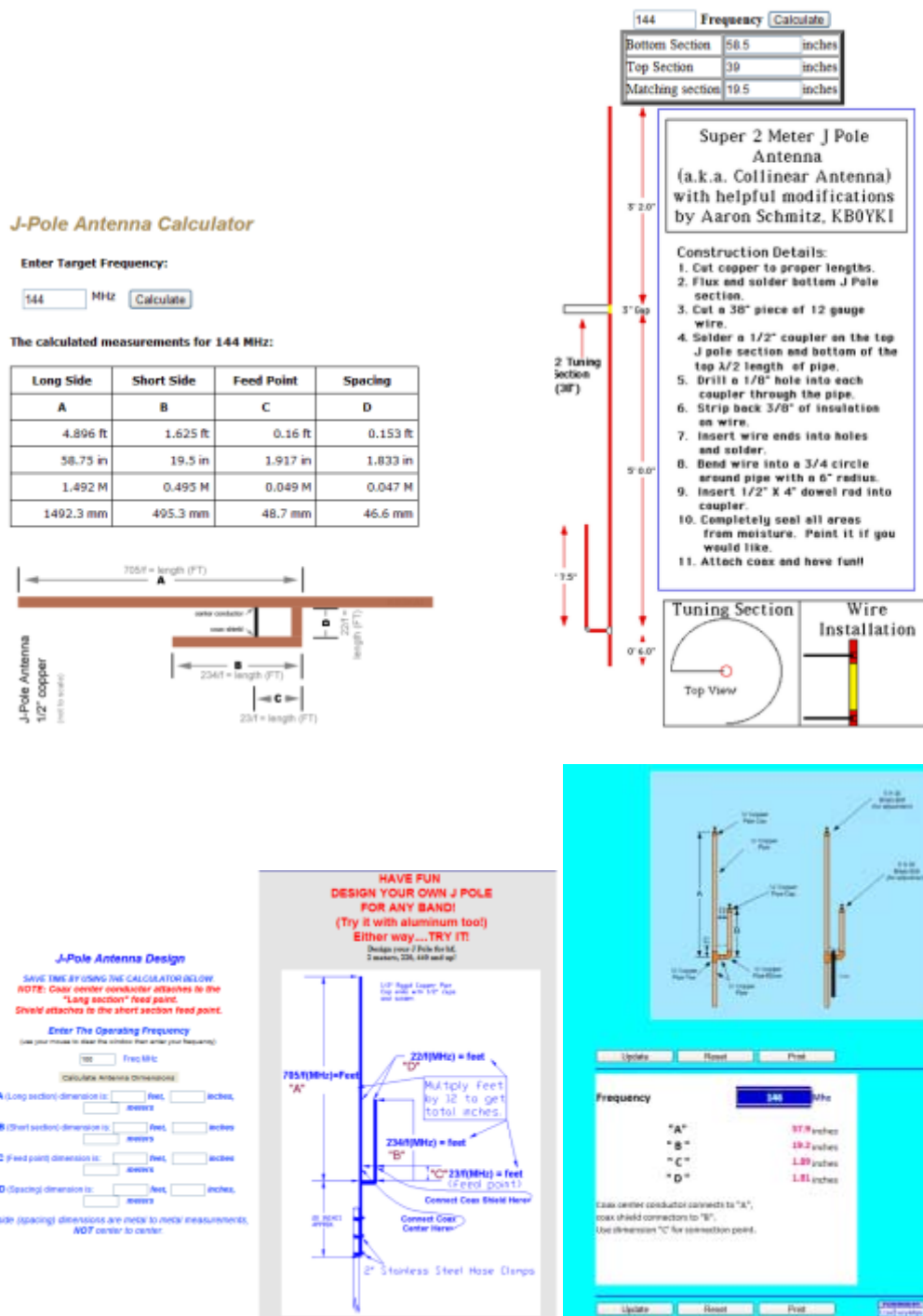
ภาพที่ 4.6 ตัวอย่างสายอากาศเจโพล 2 สแตก



ภาพที่ 4.7 ตัวอย่างสายอากาศเจโพล 5/8 ๗

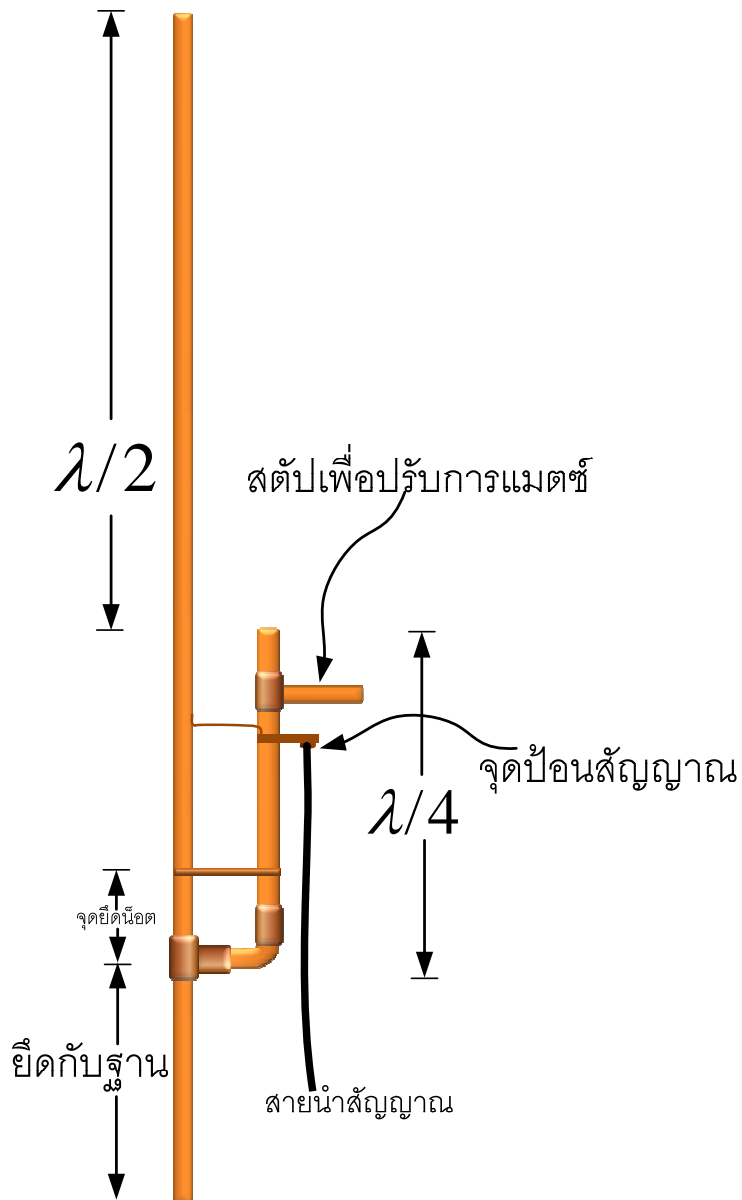
4.3 การออกแบบและการสร้างสายอากาศเจโพลสำหรับโทรทัศน์ดิจิทัล

สำหรับการสร้างสายอากาศเจโพล สามารถออกแบบได้ 2 วิธี คือ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการคำนวณ ซึ่งโดยส่วนมากจะมีอยู่ด้วยกันหลายเว็บไซต์ จากนั้นเราสามารถกรอกข้อมูลหรือป้อนความถี่ตามที่เรากำลังต้องการ ต่อมาโปรแกรมจะทำการคำนวณขนาดของความยาวส่วนต่าง ๆ มาให้ ตัวอย่างการคำนวณโดยใช้โปรแกรมแสดงดังภาพที่ 4.8 และวิธีที่สอง คำนวณด้วยการใช้สูตรแทนค่าตามทฤษฎี



ภาพที่ 4.8 ตัวอย่างเว็บไซต์ที่ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคำนวณสายอากาศเจโพล [29], [30]

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบและสร้างสายอากาศสำหรับโทรทัศน์ดิจิทัลย่าน UHF ช่องความถี่วิทยุที่ 21 ช่วงความถี่ระหว่าง 470 - 478 MHz [31] ซึ่งมีแบนด์วิดท์ช่องสัญญาณเท่ากับ 8 MHz สำหรับขั้นตอนการออกแบบและสร้างสายอากาศมีดังนี้



ภาพที่ 4.9 แบบจำลองการออกแบบสายอากาศเจโพลสำหรับโทรทัศน์ดิจิทัล

1) คำนวณความยาวคลื่น (λ)

จากสูตร $\lambda = \frac{c}{f}$ เมตร

จากข้อมูลความถี่ที่เราจะทำการออกแบบ ต้องความหาความถี่เฉลี่ย จากสูตร

$$f_m = \sqrt{f_L \times f_H} \quad (4.1)$$

เมื่อ f คือความถี่เฉลี่ยเชิงเลขคณิต

f_L คือความถี่ต่ำสุดที่นำมาใช้งาน

f_H คือความถี่สูงสุดที่นำมาใช้งาน

$$\text{ดังนั้น } f_m = \sqrt{470 \times 478} = 473.98 \text{ MHz}$$

$$\text{จะได้ว่า ความยาวคลื่น} = \frac{3 \times 10^8}{473.98 \times 10^6} = 63.3 \text{ เซนติเมตร}$$

$$2) \text{ คำนวณความยาว } \frac{\lambda}{2} \text{ ได้เท่ากับ } 63.3/2 = 31.65 \text{ เซนติเมตร และคำนวณ } \frac{\lambda}{4} \text{ ได้}$$

$$\text{เท่ากับ } 63.3/4 = 15.83 \text{ เซนติเมตร}$$

$$3) \text{ คำนวณ } \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{4} \text{ ได้ } 31.65 + 15.83 = 47.48 \text{ เซนติเมตร หรือประมาณ } 50$$

เซนติเมตร แล้วบวกความยาวเพื่อสำหรับไว้ยึดกับฐานอีก 70 เซนติเมตร รวมเป็น 117.48 เซนติเมตร ในที่นี้กำหนดให้เป็น 1.20 เมตร

$$4) \text{ คำนวณ } \frac{\lambda}{4} \text{ บวกเพื่อจุดยึดนี้อุต } 30 \text{ เซนติเมตร ได้ } 15.83 + 30 = 45.83 \text{ เซนติเมตร}$$

5) เตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างสายอากาศ ประกอบด้วย

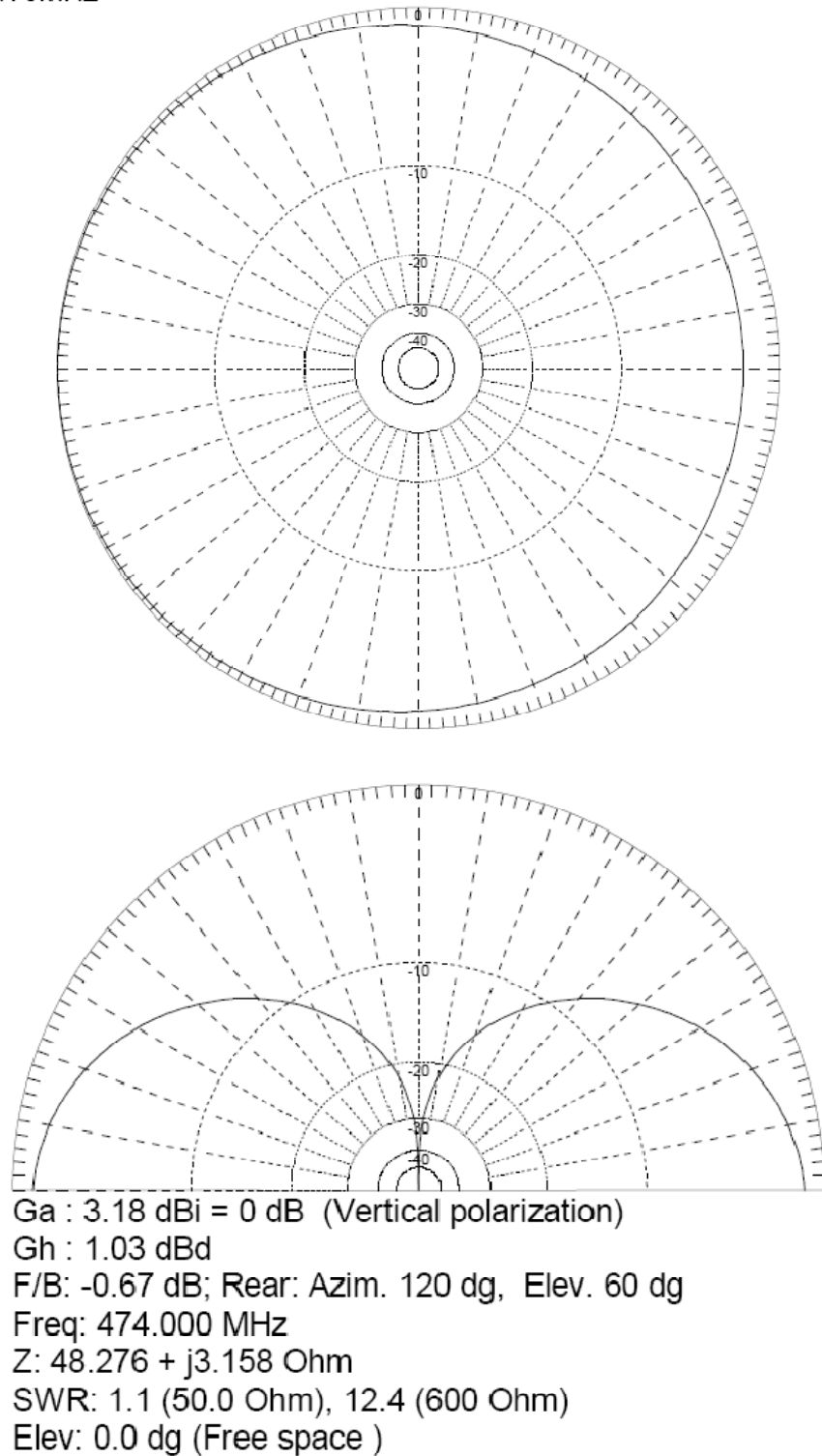
- ท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว
- น็อตสแตนเลส ขนาดยาว 4 นิ้ว
- สายนำสัญญาณ RG-58 พร้อมคอนเนกเตอร์ PL 259
- เครื่องมือที่จำเป็น เช่น หัวแร้งบัดกรี ไขควง ตะไบ สว่าน เป็นต้น

6) ลงมือสร้างตามแบบที่ได้คำนวณไว้

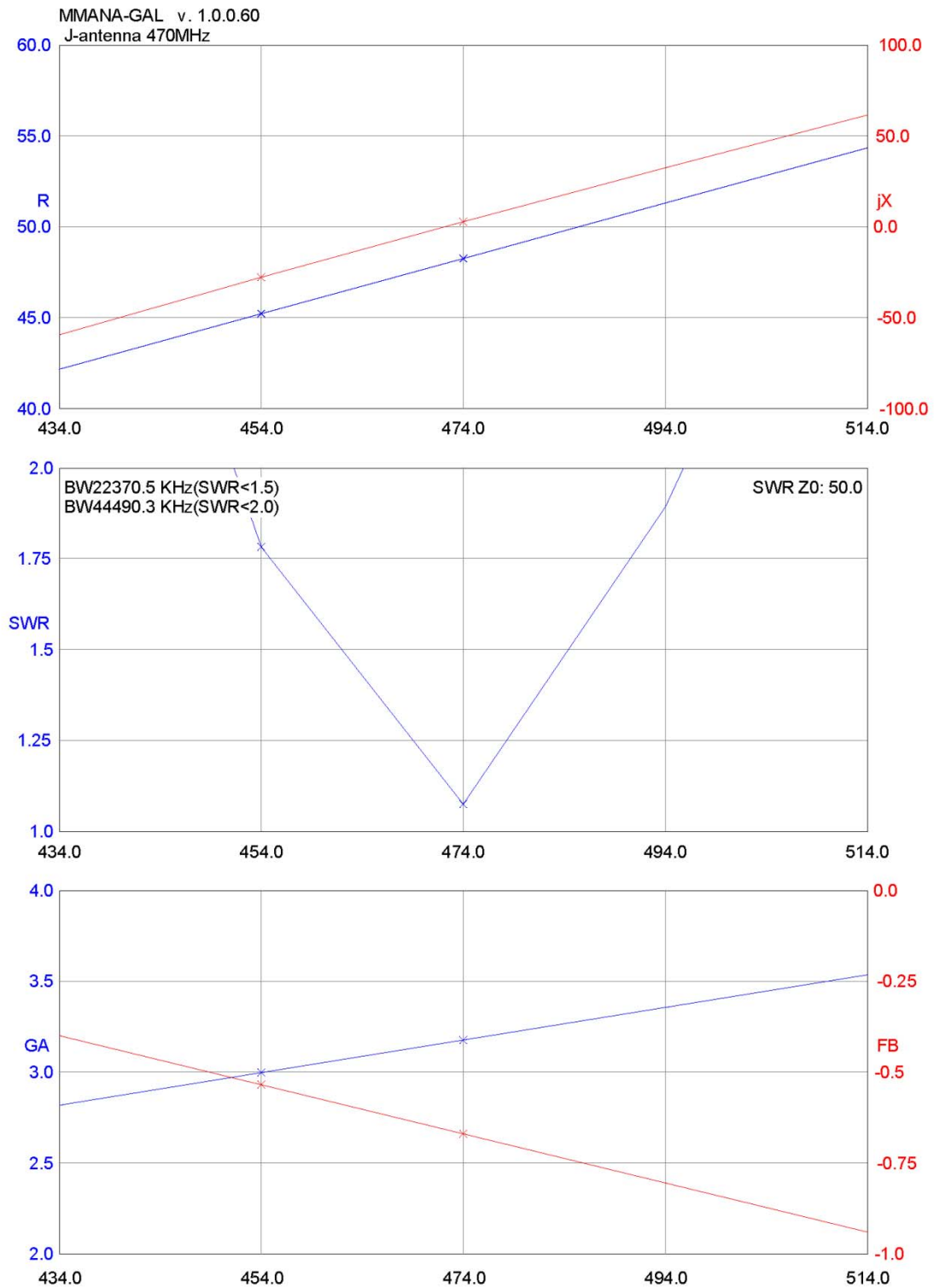
7) ทำการทดสอบและปรับแต่ง โดยติดตั้งสายอากาศให้อยู่ห่างจากพื้นอย่างน้อย 1.5 เมตร ปรับค่าการแมตซ์ของสายอากาศหรือ VSWR ด้วยทำการเลื่อนหรือปรับสลับ

MMANA-GAL v. 1.0.0.60

J-antenna 470MHz



ภาพที่ 4.10 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศเจโพลที่ย่านความถี่ UHF
โดยการจำลองด้วยโปรแกรม MMANA-GAL [32]



ภาพที่ 4.11 ค่าการแมตช์ของสายอากาศ ค่า VSWR และค่า Gain ของสายอากาศเจโพล ที่ย่านความถี่ UHF โดยการจำลองด้วยโปรแกรม MMANA-GAL



ภาพที่ 4.12 ตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณของสายอากาศเจโพล



ภาพที่ 4.13 สตับที่ใช้ในการปรับค่าแมตซ์ของสายอากาศ



ภาพที่ 4.14 สายอากาศเจโพลสำหรับโทรทัศน์ดิจิทัลที่สร้างเสร็จสมบูรณ์

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและสร้างสายอากาศเจโพล สำหรับระบบการแพร่กระจายคลื่นโทรทัศน์ดิจิทัล โดยทำการสร้างสายอากาศเจโพลที่มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 8 MHz ที่ช่วงความถี่ระหว่าง 470 MHz ถึง 478 MHz ที่เป็นไปตามมาตรฐานระบบ DVB-T ซึ่งในโครงการวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและคำนวณสร้างสายอากาศเจโพล ที่สามารถนำไปใช้งานกับระบบการรับสัญญาณโทรทัศน์ดิจิทัล โดยได้ยกตัวอย่างการออกแบบและสร้างสายอากาศเจโพลที่ย่านความถี่ UHF แบนด์ IV ช่อง 21

จากการจำลองด้วยโปรแกรม MMANA-GAL สายอากาศเจโพลมีอัตราขยายเท่ากับ 3.18 dBi และมีค่าการแมตช์อยู่ที่ $48.276 + j3.158$ โอห์ม มีค่า VSWR เท่ากับ 1:1.1 ซึ่งเป็นผลที่สามารถยอมรับได้ จากนั้นได้ทำการสร้างสายอากาศขึ้นตามการออกแบบที่คำนวณไว้

เมื่อเราพิจารณาถึงคุณสมบัติเด่นของสายอากาศชนิดนี้ ตามที่ได้อธิบายไว้ในเนื้อหาภายในบทก่อนหน้า สายอากาศเจโพลจึงเป็นที่นิยมและถูกนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เช่น นำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบวิทยุกระจายเสียงชุมชน วิทยุสมัครเล่น เป็นต้น ด้วยสาเหตุหลักคือสามารถสร้างได้ง่าย ราคาต้นทุนในการสร้างต่ำ วัสดุสามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด และมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

เมื่อเราพิจารณาถึงข้อดีจะเห็นว่า สายอากาศเจโพลมีอัตราขยายค่อนข้างต่ำเพราะเป็นสายอากาศแบบรอบทิศทาง ดังนั้นหากนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องส่งโทรทัศน์และมีการแพร่กระจายคลื่นออกไปในระยะทางไกล ๆ อาจทำให้รับสัญญาณไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นวิธีแก้ทำได้ 2 กรณี คือ กรณีแรกทำได้โดยการเพิ่มกำลังงานทางด้านภาคส่ง แต่ต้องพิจารณาและปฏิบัติตามข้อกำหนดและมาตรฐานสำหรับการให้บริการโทรทัศน์ดิจิทัลภาคพื้นดิน ตามที่คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติที่ได้กำหนดไว้ด้วย วิธีที่สอง ทำได้โดยสร้างสายอากาศใหม่ ให้มีอัตราการขยายที่สูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://th.wikipedia.org/wiki/โทรทัศน์ระบบดิจิทัล>
- [2] สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. (2553). รายงานผลการศึกษาและจัดทำมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับโทรทัศน์ระบบดิจิทัล พ.ศ. 2553. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ.
- [3] K. L. Wong, C. I. Lin, T. Y. Wu, and J. W. Lai, "A planar DTV receiving antenna for laptop applications," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 42, no. 6, pp. 483-486, Sep. 20, 2004.
- [4] C. M. Su, L. C. Chou, C. I. Lin, and K. L. Wong, "Internal DTV receiving antenna for laptop application," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 44, no. 1, pp. 4-6, Jan. 5, 2005.
- [5] Y.-W. Chi, K. L. Wong, "Wideband printed dipole antenna for DTV signal reception, TENCON 2007 - 2007 IEEE Region 10 Conference ,vol., no., pp.1-4, Oct. 30 2007-Nov. 2, 2007.
- [6] Wen-Shan Chen, Yi-Tien Chen, Hong-Twu Chen, and Jied-Sen Kuo, "A Wideband Printed Monopole Antenna for Wireless Applications," *Antennas and Propagation Society International*, pp. 1-4, 2009.
- [7] C. Y. Huang, B. M. Jeng, J. S. Kuo , "Grating Monopole Antenna for DVB-T Applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol.56, no.6, pp.1775-1776, June 2008.
- [8] C. Y. Huang, B.-M. Jeng, C.-F. Yang; "Wideband monopole antenna for DVB-T applications," *Electronics Letters* , vol.44, no.25, pp.1448-1450, Dec. 4, 2008.
- [9] F.-S. Chang, C.-Y. Lin, H.-T. Chen, and K.-C. Chao, "A Novel Monopole Antenna Backed by a U-shaped Ground Plane for Multi-Band WLAN Application," *Antenna Technology: Small Antennas and Novel Metamaterials*, 2005, pp. 517-520.
- [10] S. H. Yeung, K. F. Man, K. M. Luk, and C. H. Chan, "A Trapeziform U-Slot Folded Patch Feed Antenna Design Optimized With Jumping Genes Evolutionary Algorithm," *IEEE Transaction on Antennas and propagation*, vol. 56, No. 2, February 2008. pp. 571-577.
- [11] <http://th.wikipedia.org/wiki/สายอากาศ>
- [12] <http://www.teeneewireless.com/article?id=11765&lang=th>
- [13] <http://www.signalcmd.com/elearning/file.php/1/ant.pdf>
- [14] <http://th.wikipedia.org/wiki/ความยาวคลื่น>
- [15] <http://202.44.14.12/e-broadcast/index2.html>
- [16] โกศล นิธิโสภณ. 2553. การออกแบบและสร้างสายอากาศช่องเปิดที่ป้อนด้วย CPW สำหรับการใช้งานความถี่แถบกว้าง วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

- [17] http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Fundamental_of_Radio_Antenna/index.php
- [18] http://www.rtafa.ac.th/cs/af_antenna/data/chapter%203.pdf
- [19] <http://www.sysnetcenter.com/357-engenius-sag-2408-24ghz-8dbi-omni-antenna-h360-v60.html>
- [20] <http://lanbowan.en.made-in-china.com/product/pBQnRhLGomVJ/China-1710-2170MHz-18dBi-Flat-Panel-Antenna.html>
- [21] http://shbodun.en.alibaba.com/product/520767236-212999459/Yagi_Uda_antenna.html
- [22] <http://www.wlanantenna.net/product/22dbi-grid-parabolic-antenna.html>
- [23] <http://www.danets.com/turbotenna/TurboTenna11N.php>
- [24] http://en.wikipedia.org/wiki/J-pole_antenna
- [25] Rogers, G. E. "J-Poles Handbook, 4th Edition". Retrieved 30 January 2012.
- [26] <http://ok1ike.c-a-v.com/soubory/2.pdf>
- [27] <http://www.saltnlight-e.com/whatsnew.htm>
- [28] <http://users.marktwain.net/aschmitz/antennas/jpolecalc.html>
- [29] <http://www.kb3kai.com/j-pole-calculator.php>
- [30] <http://www.dxzone.com/cgi-bin/dir/jump2.cgi?ID=9284>
- [31] http://en.wikipedia.org/wiki/Band_IV
- [32] <http://hamsoft.ca/pages/mmana-gal.php>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งานโปรแกรม MMANA-GAL

Help MMANA-GAL basic

MMANA-GAL L is an antenna-analyzing tool based on the moment method, which was introduced in MININEC version 3. The BASIC source code of the computation engine is published as a PDS in MININEC. The program use the MININEC-3 engine modified by Alexandre Schewelew, DL1PBD, and are written in C++.

Index

- [The parameters](#)
- [Copyright](#)
- [Introduction & Getting Started](#)
- [Antenna definition](#)
- [Antenna view](#)
- [Calculate](#)
- [Plots - Z, SWR, Gain F/B](#)
- [Wire editor](#)
- [Element Editor](#)
- [Tips on Editing](#)
- [Optimization](#)
- [Results Comparison](#)
- [Far fields plots](#)
- [3D pattern](#)
- [Tools HF components](#)
- [MMANA-GAL files](#)
- [Add-on Utilities](#)
- [Setup](#)
- [Customizing User language](#)

The parameters MMANA-GAL employs are limited as follows:

Parameters	PRO version	basic version
Segments (max.)	up to 32000	8192
Wires (max.)	3000	512
Sources (max.)	200	64
Loads (max.)	300	100
Merged antenna files	2 to 4	none
Undo/Redo	unlimited	none
Auto check wires	yes	none
Speed of calculation	150%	100%

[return to index](#)

Copyright

- The antenna modeling program MMANA-GAL basic is freeware and co-written by [Alexandr Schewelev DL1PBD](#), [Igor Gontcharenko DL2KQ](#) and [Makoto Mori JE3HHT](#) who also owns the copyright. There are no restrictions on copying or distributing this software as long as the software remains unmodified and copyright ownership is acknowledged.
 - MMANA-GAL basic is released without any support or warranty for any consequential damage caused by the use of the program.
-
- **Bulgarian** language file released on 2005.12.01 by [Stilian Stankov LZ3BY](#)
 - **Japanese** language file released on 2006.05.20 by [JA7UDE Nob Oba](#)
 - **Spanish** language file released on 2006.05.20 by [Valentin Alonso Gracia, EA4GG](#) & [Dimitri Agüero, F4DYT](#)
 - **Serbian** language file for MMANA-GAL released on 2006.05.20 by [Slobodan Ilic' YU1GV](#)
 - **Dutch** language file for MMANA-GAL released on 2006.11.01 by [Frans Peeters, ON4AZD](#)
 - **Czech** language file for MMANA-GAL released on 2006.05.20 by [Martin Kratoska, OK1RR](#)
-
- Last version **MMANA-GAL 2.5** (basic) released on 2010.07.20 by [Schewelev Alexander DL1PBD](#) and [Igor Gontcharenko DL2KQ](#)
 - Last version **MMANA-GAL PRO 2.5** (professional) released on 2010.07.20 by [by Schewelev Alexander DL1PBD](#) and [Igor Gontcharenko DL2KQ](#)
-
- Revised English Language file for MMANA-GAL released 2010.07.20 by [Mario Chomicz G8ODE](#)
 - Major English Help File revised & updated using Russian, German & English Files Released April 2010 by [Mario Chomicz G8ODE](#), [Alastair Couper NH7O](#) and [Barry Short G3YEU](#)
-
- **Please, do NOT send mail direct to JE3HHT, DL1PBD, DL2KQ.**
 - All comments and questions or concerns related to the MMANA-GAL basic program should be directed to the MMANA-GAL YAHOO GROUP - <http://groups.yahoo.com/group/MMANA-GAL> . To subscribe to MMANA-GAL Users Group - <http://groups.yahoo.com/group/MMANA-GAL/join>.

[return to index](#)

Introduction

Acknowledgments from Igor, DL2KQ:

I would like to thank Alex, RZ1ZK, for providing me information about Japanese MMANA and his help in the first steps of translations Japanese mmana.exe file. I also thank Serge UA6LGO for his big help in translations of Japanese words and expressions.

Acknowledgments from Oba, JA7UDE:

I would like to thank Mr. Makoto Mori for ANOTHER great HAM software - MMANA. I hope many HAMS in the world enjoy this great software.

MMANA-GAL has the following functions:

- Table-based editor for antenna design and definition
- Graphical antenna viewer
- Viewer for horizontal and vertical beam radiation patterns
- 3D radiation pattern
- Comparator for two or more "calculation" results
- Antenna element editor
- Antenna wire editor
- Tools for defining the combination of elements with different diameters
- Automatic antenna optimizer with respect to jX, SWR, Gain, F/B, Elevation, and Current
- Ability to browse optimized results with manual tuning capability
- Frequency characteristics chart maker
- Data file generator
- User language (any)

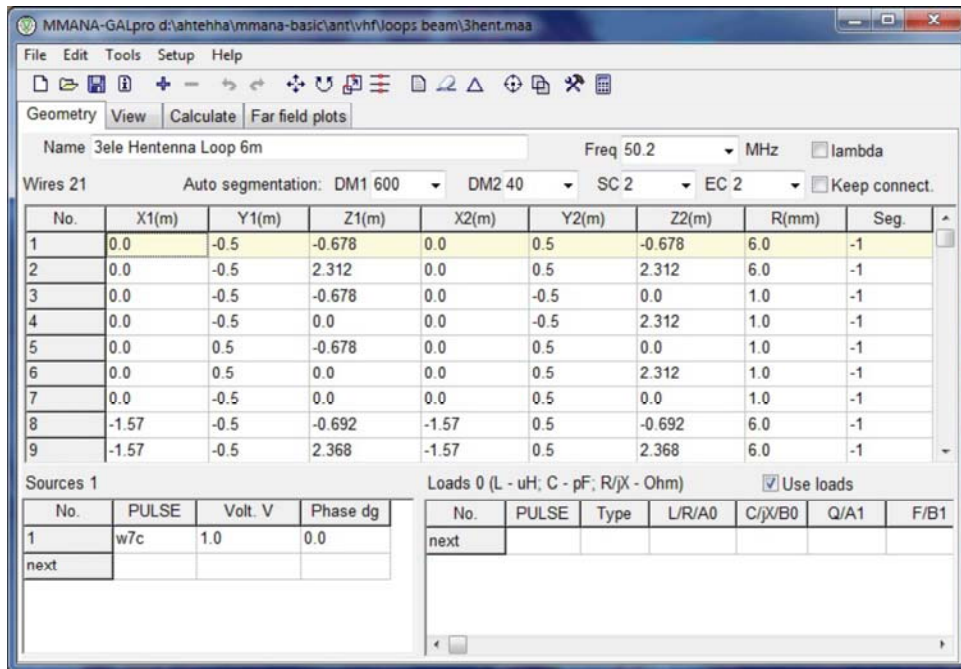
Please note that this document provides only a basic guide and overview for MMANA-GAL. It is not a textbook of antenna modeling or analysis techniques. If you are familiar with the moment method, then you can make full use of MMANA-GAL capabilities.

Getting Started

1. **Start** MMANA-GAL. By default the program starts in the **Geometry** tab. This is used to input the antenna wire definitions.
2. **Select File > Open (*.maa)** and in the MMANA-GAL\ANT\HF simple\Dipole\ folder select DP20.maa. This file was originally saved with a default frequency of 14.05MHz.
3. Press **OK**.
4. Select the **Calculate** tab and press the Start button at the bottom left of the window. The antenna impedance and SWR will be calculated, based on the default frequency.
5. The results will be displayed an impedance of **71.5R - j1.913** and a **SWR ref 50 R = 1.43:1**.
6. To see the far field pattern, select the **Far Field Plots** tab, where the Azimuth and Elevation radiation plots will be displayed.
7. Select the **Calculate** tab to return to the Calculate window, and change the default frequency to 14.15MHz, press the Start button again.
8. The window will display the new values eg. an impedance of **73.1.5R + j8.601** and a **SWR ref 50R = 1.5:1**

[▲ return to index](#)

Antenna definition



Equation

In MMANA-GAL an equation can be used instead of a number. The numerical operators supported by MMANA-GAL are: +, -, *, /. You can also use () to specify the calculation order. *Example:*

$$\begin{aligned}
 5*2+1 &= 11 \\
 1+5*2 &= 11 \\
 (1+5)*2 &= 12 \\
 5*(2+1) &= 15 \\
 20/(3+7) &= 2
 \end{aligned}$$

The special constants shown below can be use:

- R = λ (lambda) = wavelength (meter)
- I = 1 inch (meter) 1 inch = 2.54 cm
- F = foot (meter) 1 ft = 12 inches

Example:

$$\begin{aligned}
 R/4 &= 1/4 \\
 5*R/8 &= 15/8 \\
 30*F &= 30 \text{ feet} \\
 15*I &= 15 \text{ inches}
 \end{aligned}$$

Although the constants are immediately calculated by MMANA-GAL, they are not stored in memory.

Antenna Element definition - using the Geometry Table

In MMANA-GAL there are two ways to define the antenna that is to be modeled. The easiest way is to input the antenna coordinates in the form of a table. Click on the **Geometry** Tab, this has an antenna definition tool in a table format like a spreadsheet. With the table, you can define the antenna parameters including wire dimension, sources, and loads (LCR load/termination).

EXAMPLE - creating a simple 2 element beam half wave antenna for 20m. (the wire length will be approx 10m overall length).

- Place the cursor to the parameter box and input a numeric value in the "X" Column e.g. 5 using the keyboard. Press the return key to validate the selected value.
- Notice that MMANA-GAL auto-completes the rest of the line and even allocates a wire radius of 0.8mm. You can use a simple equation instead of a numeric value (see Equation).
- Now Right click the mouse to open up the EDITING pop-up menu, with which you can ADD to or DELETE the line entry.

Wire definition

Define the wires that compose the antenna:

X1	X-axis starting position of the wire (unit is meter or λ)
Y1	Y-axis starting position of the wire (unit is meter or λ)
Z1	Z-axis starting position of the wire (unit is meter or λ)
X2	X-axis ending position of the wire (unit is meter or λ)
Y2	Y-axis ending position of the wire (unit is meter or λ)
Z2	Z-axis ending position of the wire (unit is meter or λ)
R	Radius of the wire (unit is millimeter or λ)
SEG	Segmentation method

Please note that R is not the diameter, but the radius. Put a minus value to R when modeling a tapered element that is composed of two or more elements having different radii.

If **R= 0** then the element behaves as an insulated element. Using this trick, you can define a complex combination of elements (the MMANA-GAL program will automatically determine if any wires in a group are electrically connected. However, there are occasions when the wires need to be combined into one element wire, but with no electrical contact. In these situations, the grouped wires forming one element must be connected via an additional wire-insulator (with **R = 0**) .

Changing the element radius

Antenna characteristics can change when the element's radius. This is particularly true in the case of a Yagi or Quad antenna as this affects not only the impedance but also the gain and F/B ratio.

However, there are times when it will be necessary to change the element's wire radius without changing the original design characteristics.

The recommended procedure when changing wire size.

1. Change the radius and calculate once.**
2. Push the Resonance button in the Frequency characteristics window, and obtain the resonance frequency "fo."
3. Use the fo as the design frequency in the antenna definition window.
4. Recalculate. If the antenna characteristics are close to the originals, continue.
5. In the antenna size window of the Edit menu, check Y-axis and Z-axis (uncheck X-axis to keep the boom length). Resize the antenna so that it matches the original frequency.
6. Recalculate..
7. Repeat 1 to 6 if required..

** N.B. A broad band Yagi antenna has two or more resonant frequencies fo when $jX=0$.

The resonant frequency derived from the frequency characteristics window is only one of the range of two or more frequencies. Therefore the derived frequency is not always same as the original fo.

When an element radius is increased, the resonant frequency is likely to decrease, and, if the element is shortened, the resonant frequency is likely to increase. However, this situation is reversed in loop antennas.

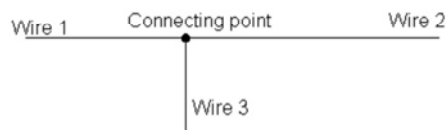
Following the procedure above, the original characteristics should remain unchanged, otherwise it may be necessary to optimize the antenna model again. This procedure, however, assumes that the original antenna is resonant at the design frequency. If your element is capacitive reactive, as with a hairpin match, adjust the element length so that it is resonant and follow the above procedure. Repeat the element tuning with the hairpin match .

For a Yagi antenna, it is usual to place the boom in parallel with the X-axis, the wire elements parallel with the Y-axis, and the height in parallel with the Z-axis. It is a good idea to place the source at $Z = 0$ or to place the center of the antenna at $Z=0$. The height of the antenna above the ground can be changed using other parameters described later.

For a vertical antenna place the source at $Z=0$ and the center of the antenna at $X=0$ and $Y=0$.

In order to connect two or more wires at one point, you must give them exactly same start or end position, i.e., the wires must have the same X , Y , and Z values at the connecting point; otherwise they will be treated as separated wires.

Example - inter-connecting To model a "T-shape " antenna with a vertical wire connected to the center of a horizontal wire. Three wires (not two wires) have to be defined, as shown below:



Height

The full height of the end of the wire above the ground is the sum of its coordinate Z (as set in the table of wires in the Geometry window) and add height, as set out in the Calculate window the field Add height. If you need connect an end of the wire to the ground (e.g.. GP) this sum (the full height) must = 0.

For a vertical dipole, in the GEOMETRY window definition table the source's Z -axis value must not be set to zero, but make sure that the Ground ADD HEIGHT in the Calculation window is set to zero, else you will model an end-fed antenna with errors in the calculated impedance,

HINT: when modeling an antenna that is erected on a rooftop , set a minus value in the Media Setting window for the Real Ground option .

Segmentation

SEG value specifies the segmentation method :

Seg	Method of segmentation
Positive value	Manual regular segmentation. <i>use not recommended.</i>
0	Automatic regular segmentation. <i>use not recommended.</i>
-1	Tapering segmentation. The lengths of segments vary from $(\lambda / (SC \bullet DM1))$ to $(\lambda / DM2)$. <i>This is recommended (default) setting</i>
-2	Tapering is applied only to the starting point.
-3	Tapering is applied only to the ending point.

Important: Tapering should always be employed even when modeling a simple dipole models, using equal segmentation is not considered a good idea.

The moment method divides an element into pieces, called segments, and calculates the current flow in each segment. The actual number of segments and the method of segmentation strongly influences the calculation's accuracy. This is particularly true when an element is bent (e.g., loop antenna). In this case the element has to be segmented into smaller pieces, but only around the bending point of the element. This is achieved by using fine tapering.

Tapering is one of the methods that improves the calculation accuracy. It divides the element section near the bending point into small segments, but divides the other sections (straight sections) into large segments. If all the elements were divided into small segments, the computation time increases considerably. Tapering using a small number of segments on a straight element will produce accurate results.

Be careful when setting the SEG parameter with values of -2 or -3 for partial tapering , as the pulse may not be generated at the center of the element. This can occur when an antenna element is modeled as two or more elements each with different radii. Avoiding the use of these two values will prevent fatal errors.

How MMANA-GAL Segmentation Process Operates

Initially a segment is selected in any element (the selected element), then the smallest distance of this segment to any other element's segments or ground is determined (D). Next, the smallest distance of the selected element's segment to its adjacent segments is also determined (d). However, these have to comply with the rule $D > d$ for any segments in any of the antenna's elements.

- DM1: the start interval for tapering ($= \lambda / DM1 \cdot EC$)
- DM2: the final interval for tapering end ($= \lambda / (SC \cdot DM2)$)
- SC: the easing parameter (multiplier), $1 < SC < 3$. SC specifies the rate at which tapering changes.
- EC: the number of DM1 segments at tapering-end i.e the multiplier of the DM1.

Examples

if $DM1 = 200$, then tapering starts from ($\lambda / (SC \cdot 200)$) to ($\lambda / DM2$).

If $DM1 = 600$, and $DM2 = 60$ then tapering will start with ($\lambda / 600$) and finish with ($\lambda / 60$).

if $EC = 2$, MMANA-GAL puts 2 segments with a ($\lambda / DM1$) interval at the tapering end point.

In most cases, EC is set to 1, but it can set to different values for special cases.

The Segmentation parameters are stored in the **Antenna Definition** file in CSV format (**Main menu - Edit - Antenna definition Edit**).

Example can be seen in the "145/435 MHz GP for mobile" antenna's file below:

```
145 /435 MHz GP for mobil
*
435.0
***Wires***
1
0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.492, 0.0015, -1
***Source***
1, 1
w1b, 0.0, 1.0
***Load***
1, 1
w1c, 0, 0.03, 0.0, 0.0
***Segmentation***
200, 20, 2.0, 1 <--. Explanation of this line the parameter order is DM1 , DM2, SC, EC
***G/H/M/R/AzE/X***
2, 0.0, 4, 50.0, 120, 60, 0.0
###Comment###
Mod by Mario Chomicz, G8ODE 16/11/2009 14:17:50
```

Calculation limitations

Although calculation accuracy is improved by the use of small segments, there is a limit. If the segment $< 0.001 \lambda$ the calculations will not be accurate. Similarly if the radius of the element is too large; segment $> 4:1$ the accuracy will be poor.

The calculation speed can be improved by using smaller values of DM1 & DM2 than those shown above. With small values the calculation error tends to be **small** in the **Gain** and **F/B ratio**, but is relatively **large** in the **Impedance (jX)**. So its generally recommended that the trade-off between speed and accuracy is first considered before any changes are made.

Guide to calculation accuracy

There is no exact criterion to judge the calculation accuracy. A good guide is to check how the impedance is affected by increasing or decreasing the number of segments. If the impedance change is **small** the model is correct.

Alternatively, check the current distribution in the antenna view window. Smooth current distribution indicates that the model is correct.

The lambda check-box

When this box is ticked, MMANA-GAL recalculates all the dimensions in the definition with respect to wavelength. A 20m half wave dipole with two 5.13m long elements will be re-calculated as having two elements that are 0.242296m long. This is called the wavelength mode. When the box is not checked, MMANA-GAL uses 'metre' as the unit for dimension and 'millimeter' as the unit for the radius.

Internally the MMANA-GAL program uses metric measurements for all its functions. To re-scale an antenna that has been defined in wavelengths for another frequency it is necessary to use Geometry Tab tool bar EDIT drop-down menu **Wire Scale** function.

In the above 20m dipole example the elements are 0.242296m long, if the 7.05 MHz option frequency is selected, MMANA-GAL re-calculates the elements to be 10.30333m long. This will be seen when the lambda check box is not checked.

The Keep connected check-box

When checked, the **Keep connected** box, ensures that the dimensions of all elements connected to the target element can be re-scaled, without losing the connection to the target element. Otherwise, it would be very difficult to design a Yagi or loop antennas if all of the element X-Y-Z coordinates have to be changed every time.

Sources (Feeding point)

. Puls	Pulse position. Use the following convention for defining pulse positions. W#C(#) Offset from the center of the wire. W#B(#) Offset from the beginning position of the pulse assignment on the wire. W#E(#) Offset from the ending position of the pulse assignment on the wire.
Phase deg.	Phase of feeding, deg.
Volt. V	Voltage of feeding, V.

Example :

- **W1C** Center of wire 1
- **W3C1** One point ahead of the center of wire 3
- **W2C-2** Two points behind of the center of wire 2
- **W2B** The beginning position of wire 2
- **W5E3** Three points behind of the ending position of wire 5

Usually, the Phase is set to zero (0) for an antenna with one source. For antennas that use phase driven elements (e.g., 135 degree phased driven HB9CV), put 135 as the Phase value at the second source.

The absolute value of the Voltage is not important, but it affects the relative amplitude of the current distribution shown in View in the Geometry Tab.

Loads (lumped-constant)

To define the pulse position, use the same convention as the source. Defining loads: move the mouse pointer **Type** cell, and hit the return key or left click the mouse. A pop-up menu will appear with **C**, **R+jX**, or **S**.

Using the mouse again left click on the load that is required, this will then appear in the **TYPE** cell that was selected.

- When defining an **LC** load's parameters, **L** is specified in (uH), **C**(pF), and **Q** as number.
- To define a coil specify **L**, and put **C** to zero (0)
- To define a capacitor specify **C**, and put **L** to zero (0)
- Put **0** to **Q** if **L** or **C** has no loss, or real value of the Q if **L** or **C** has loss.

Where L and C create a parallel tuned trap. MMANA-GAL automatically calculates and displays the resonant frequency for the given values of **L** and **C**. Once you have defined the tuned **trap**, MMANA-GAL will automatically change either the **L** or **C** value, while keeping the same resonant frequency constant (**Resonance Keeping function**), whenever **C** or **L** is changed.

STOPPING THE AUTOMATIC RESONANCE FUNCTION: Set the value of **L** or **C** to zero (0) to stop the automatic resonance keeping function. To restore the function reinsert the values for **L** or **C**.

LC Load Calculations

For LC Loads the program automatically calculates the missing value of Frequency, L or C value from any two parameters.

MANNA-GAL assumes the value of Q to be Zero, but this can be changed after the Frequency, L or C values have been calculated.

N.B. A very high Q is usually indicative of a low loss situation.

R+jX Load

This is specified under the TYPE column with a left click of the mouse. When selecting R+jX, the row definitions change to show

PULSE, TYPE =R+jX, R(OHM), jX(OHM).

To indicate capacitive reactance remember to put a minus sign (-) in front of the value. This can be used to specify a termination or some other unusual reactance that needs to be modeled.

Complicated Load

This is specified under the TYPE column with a left click of the mouse. When selecting **S** the row definitions change to show A0, B0, A1,B1 etc in the series (**A0 - An** and **B0 - Bn**) for the load. The Nth parameter is automatically defined as the input point.

The S parameters can be obtained by applying the Laplace transformation to the lumped-constant circuit ($S = j\omega$).

N.B " ω " is omega or $2\pi f_0$. The coefficients of the numerators are A0 - An and those of the denominator are B0 - Bn.

$$Z = R + LS + (1/CS) + RC \cdot S + CL \cdot S^2$$

The Laplace form of the equation above is:

$$Z = R + j\omega L + (1/j\omega C) \rightarrow R + SL + (1/SC)$$

Therefore, you can simulate this with A0=1, A1=RC, A2=CL, B0=0, B1=C, B2=0 (or A0=1/C, A1=R, A2=L, B0=0, B1=1, B2=0). The units for R, C and L are in ohms, F, and H, respectively. The absolute values with these units tend to be very small, therefore the exponential notation is recommended e.g. a capacitor with a value of 20pF is expressed as $20 \cdot 10^{-12} = 2 \times 10^{-11}$.

The same results will be obtained for all the calculations using either the S parameter or R+jX, because they represent the same lumped-constant load. However, since R+jX is frequency dependent, using this method to analyze a multi-band antenna can be difficult.

Samples load are given in the following models:

- Loading coil VDP40B.MAA in directory ...\\ANT\SHORT\L
- Loading capacitor MAGLOOP.MAA, MAGLOOPC.MA in directory ...\\ANT\SHORT\Magnetic loops\
- Trap MULTDPH.MAA, MULTDPHW.MAA in directory ...\\ANT\HF multibands\Trap\
- >Resistor termination T2FD.MAA, RHOMBIC.MAA, ABW1.MAA in directory ...\\ANT\HF aperiodic\
- S parameter MCQM.MAA in directory ...\\ANT\HF multibands\LC in antenna

Pulse assignment

Pulses are assigned to the wires in the order of the wire definition. A pulse is not assigned to the unconnected end of an independent wire. If this wire, on the other hand, is connected to another wire, a pulse is assigned to the end point. However, in the special case where a wire has its Z-axis value defined as zero (0), a pulse is assigned to that point (a vertical antenna is a typical example).

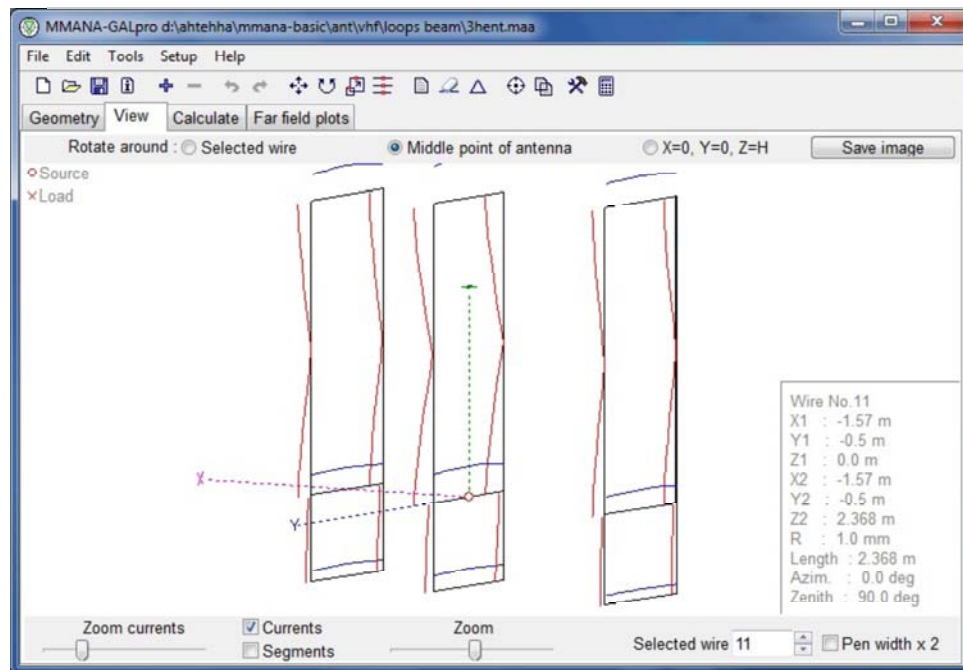
Be careful when modeling current direction at the source. Look at the example below with four wires. This is similar to the method for feeding a double doublet or twin delta loop. In such cases, the source is placed centrally on a short wire between two sets of wires, as shown in the diagram.

In such cases, the source is placed centrally on a short wire between two sets of wires, as shown in the diagram.



[return to index](#)

Antenna view



Opens a new window displaying the image of the antenna file. The current distribution is calculated and superimposed on the image. Vertical current components are shown in **Red** and horizontal in **Blue**.

Select a wire

A specific wire can be selected by either using the up/down arrows of the spin box, or by left clicking on the wire. The selected wire will be redrawn in bold.

Each new wire selection is highlighted in the GEOMETRY window by a dotted rectangle in the X1 column of the WIRE DEFINITION table. For complicated antenna models, this method is very useful for identifying individual wires prior to changing any definitions.

Zoom Currents

The slide control is used to magnify the size of the currents shown superimposed on the antenna image. N.B. it is necessary to perform at least one calculation in order to display the currents.

Zoom

This slide control proportionally magnifies the whole antenna image and superimposed currents.

Pop-up Menus

Left click anywhere on the screen to activate the pop-up menu of the Wire Definition Editor, which can be used to amend selected wire details.

Right clicking displays another pop-up menu, in which you can change the antenna's position, add/delete a source, move the wire etc.

Rotate

Select one of the radio buttons at the top of the screen (Selected Wire, Middle Point of the antenna, or $X=0$ $Y=0$ $Z=H$). Press and hold the left mouse button to rotate the antenna image around the selected axis.

CTRL+Left Click

To reposition the antenna image anywhere on the View screen

Currents Check box

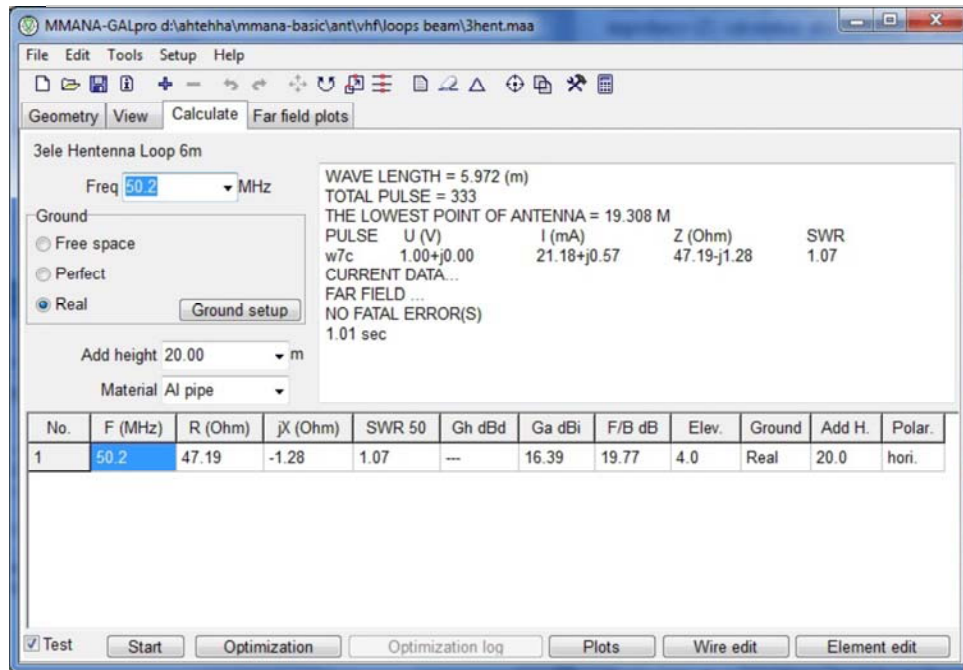
Check this box to superimpose the current distribution on the antenna wires. N.B. it is necessary to perform at least one calculation in order to display the currents. Vertical current components are shown in **Red** and horizontal currents in **Blue**.

Useful Hint: It is often helpful to look at the modeled current distribution as any unexpected deviations or irregular wave shapes may indicate a need to re-check the wire definition, wire connection or segmentation

Segments Check box

Check this box to display the segmentation points. This can be of help when verifying tapering.

[▲ return to index](#)

Calculate

The MININEC3 algorithm relies on real ground parameters to calculate the far field and the subsequent beam pattern. The impedance (Z) calculation also assumes a perfect conductive ground. Consequently, for antennas that are $< 0.2\lambda$ above ground, the calculated results tend to give lower impedance values than may be realized in practice.

If a horizontal antenna includes one (or more) wires $< 0.2\lambda$ above ground, or where ground plane radials are $< 0.05\lambda$ above ground, NEC2 can be used to obtain more accurate impedance results. If this level of accuracy is needed, [GAL-ANA](#) is available and uses the same *.maa file.

An error message is displayed in the upper log window if MMANA-GAL is not able to produce a calculated result. This is more likely to occur with antenna definition errors.

Service MMANA-GAL calculates a worst-case front-to-back ratio. The default value for the angle of the rear sectors is 120 degrees, but this can be amended in **-> Options and Setup**. Click on the **Setup** tab, the angle can be changed in **Rear Range of F/B**.

Ga represents the absolute gain.

Gh is derived simply by substituting 2.15dB from Ga. Gh is not displayed if the ground option is included.

In order to simulate two or more types of ground, additional X-distance or R-radius and height parameters will be required for each type. The option in MININEC to apply a virtual ground, is also available in MMANA-GAL. The ground condition parameters are only used for calculating the far electric field (beam pattern).

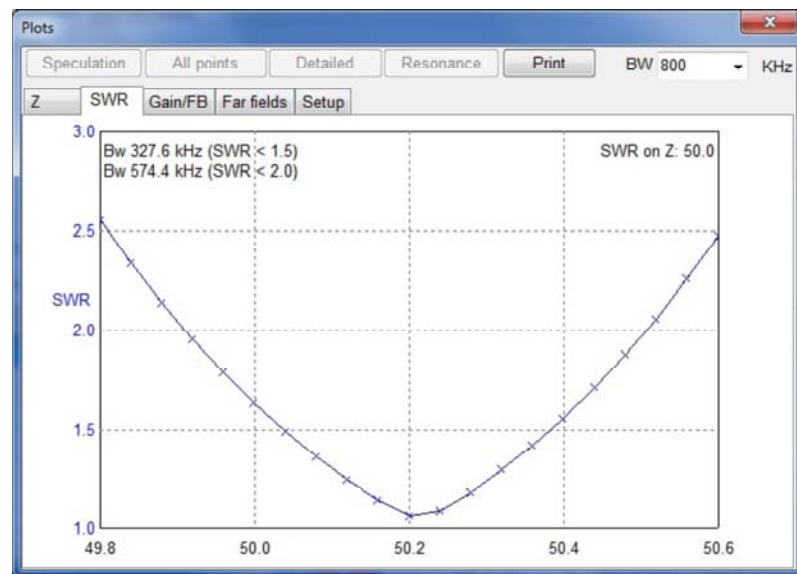
To change the ground option, select the REAL radio button in the Ground panel. Left click on the Ground setup button to bring up the Real ground setup window. Set the dielectric constant and conductivity (mS/m) to reflect the actual ground. The height of the first ground type should be 0. To add another ground type use the **Next** button. The **SETUP** window is closed by a Left Click on the top right hand corner.

Dielectric constant and conductivity of the ground

Ground	Dielectric constant	Conductivity (mS/m)
Sea water	81	4000
Fresh water	80	1 - 10
Wet ground	5 - 15	1 - 10
Dry field, forest	13	5
Sandy field	12	2
Suburb, industrial	5	1
Arid field	2 - 6	0.1

[return to index](#)

Plots - Z, SWR, Gain F/B



The **Plots** window is accessed from the bottom of the Calculate screen by clicking on the **Plot** button.

At the top of the Plots window there are six special buttons that are used to produce the plots.

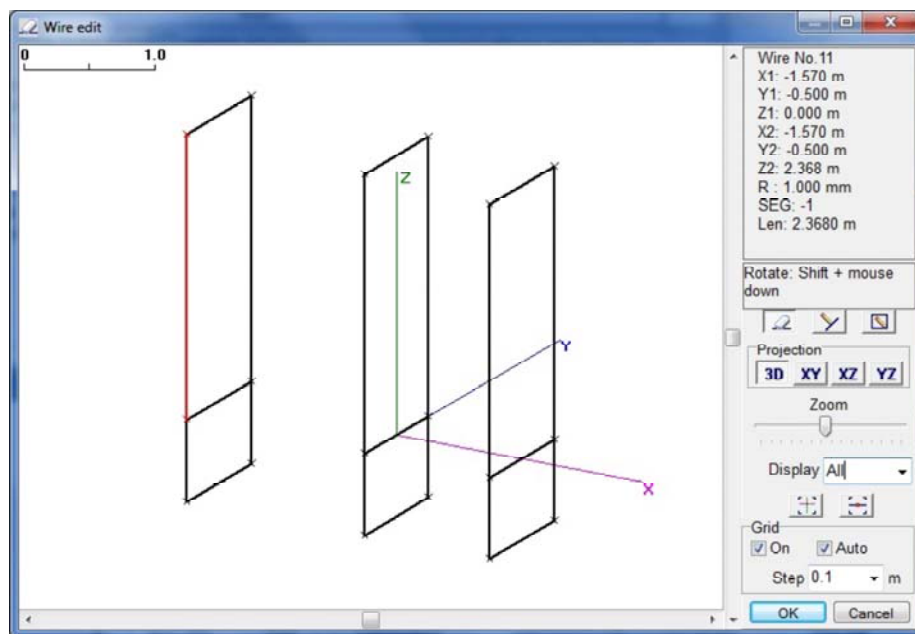
- **Bandwidth Selection Box** : This has a drop down menu that is used to specify the bandwidth, centered on the modeled frequency, which is used to create the various plots.
- **Speculation button** : The program uses a small offset in frequency to estimate the frequency characteristics either side of the modeled center frequency for any of the required parameters (e.g Z, SWR etc). The program uses a linear approximation for R, Ga, and F/B and assumes that the antenna is a serial resonant circuit to estimate the jX and SWR. The program cannot estimate the far field pattern.
- **All points button**: This button is used to produce the specified plot for the selected bandwidth using 5 equally spaced frequencies i.e. +/- 2 frequencies either side of the modeled center frequency.
- **Detail button**: 21 equally spaced frequencies spanning the selected bandwidth to produce the specified plot. Because there are more points to calculate the graph will take longer to produce. This option is useful for obtaining the antenna characteristics over a relatively wide frequency range. However if the selected bandwidth is too big, the plot will become less accurate.
- **Resonance button**: MMANA-GAL calculates the resonance frequency of the antenna and shows the Fo in the Z graph, on the top left hand side. Please note that it can take a substantial time for the calculations to be completed and all the various graphs populated with the data.
- **Print button**: MMANA_GAL Automatically detects the PC's Printer. Clicking on the PRINT button will open up the pop-up panel for the PC's Printer dialog box. the printer will produce a single page with the Z, SWR, and Ga/FB plots. The Far Field plot is not printed.

Tabs:

- **Z (Impedance)** : The graph's Y axes are labeled R and jX and the X axis is scaled according to the selected bandwidth.
- **SWR** : The graph's Y axes are labeled SWR and scaled according to the limit set for SWR in SETUP. The X axis is scaled according to the bandwidth that has been selected.
- **GAIN F/B** : The graph's Y axes are labeled GA and FB and the X axis is scaled according to the selected bandwidth.
- **FAR FIELD** : The beam pattern plot superimposes all the calculated results for all the speculated frequencies. Specified by the **Speculation, Detailed, All-Points** buttons. Using the **ON** column the different frequencies can be toggled **ON** or **OFF**. Using this method it is possible to deselect plots for specific frequencies so that only one or a selected few are displayed on the graph. The three check boxes V, H and V+H specify the polarization to be plotted. The fourth check box, Total, is the summation of the two fields.
- **Setup**: is used to:
 1. specify the middle frequency (centre) on the plots,
 2. set the y axis of the graph to a specified SWR i.e SWR values greater than this are not plotted.
 3. set the number of dots or points plotted from 9,13,17,21.
 4. Match Options:
 - **Check box SWR -On** : On the setup page, the frequency value selected in the "Match frequency" control will be assumed to have a 1:1 SWR, and the SWR plot will be interpolated from that point.
 - **Check box Z, SWR -On** : As above, but now the Z plot will also be assumed to have a value equal to the reference value, and the Z plot will be interpolated from this point.

[return to index](#)

Wire editor



Select Wire edit from the tool bar Edit menu to start the wire editor. You can add, modify, and delete the wire using mouse operations. The editor has four perspective views.

- **3D** : Three dimension view.
- **X-Y** : Top view.
- **X-Z** : Side view.
- **Y-Z** : Front view.

The sliders and buttons at the right of the window are:

- **Zoom slide** : Zoom-in/Zoom-out.
- **Edit wire** : Select mode.
- **New wire** : Add a new wire.
- **New loop** : Add a new loop.
- **Plus tool button** : Centered on X=0, Y=0, Z=0.

- **Whole view tool button** : Zoom the view to show full antenna.
- **Display pull down list** :
 - **All**: all the wires.
 - **Plane**: the wires on the same plane.
 - **Element**: show only wires that are connected with the selected wire.
- **Grid** : Hide / Unhide the grid.
- **Step Grid** - scaling (step size)

Right click on the window for the pop-up menu that has the following options:

- **Full view** : Centre the window at the cursor position.
- **Centered in X=0, Y=0, Z=0** : Centre the window at the reference point (X, Y, Z = 0).
- **Centered on the antenna**: Move the centre of the antenna to the centre of the window.
- **Connect to the closest wire** : Connect the selected wire to the nearest other wire.
- **Disjoint wire at the connected point** : Disconnect the wire from other wires at the connection point/
- **Set center wire on center axis** : Move the selected wire to the axis.
- **Divide wire into** : Divide the wire into the specified number of elements.
- **Del wire** : Delete the wire.
- **Grid start point** : Align the grid to the specified point.

Selecting a wire

Right click on the target wire. This wire will be displayed in red and the others in black. The connected wire's end points are marked with an X, if not connected they are marked with □ (square). A complicated antenna, such as an Log Periodic Dipole Array (LPD) , can be defined by making full use of these functions, i.e Divide wire, Disjoint wire, Connect wire to the closest wire, etc.

Mouse operation in the wire selection mode

Right click on the "Edit Wire" button in the menu panel to initialize the wire selection mode. Right click to select the target wire. Please note that most of the functions to be described are unavailable in the "3-D view window", where it is only possible to alter the wire end points or connect the selected wire to other wires.

Move the mouse near to the end of the wire; the cursor will change shape to a cross. Right click and hold on the end point and it is possible to move the wire to any position. Hold the shift key while holding the right click button to pull the wire vertically or horizontally. By holding the control key and the right click button it is possible to alter the angle without changing the length of the wire.

Move the cursor to the middle of a wire, the cursor shape will change to an arrowhead with a square box, hold the right click button to move the wire to any required position. Holding the shift button at the same time will move the wire in a vertical or horizontal direction.

Wire definition mode

To add a new wire, right click the **New Wire** button in the menu panel . Click on the position where the new line starts and drag the new wire to the required end point. The actual length of the wire will be displayed in the Parameters window (top right hand side of the screen). It may be necessary to change the STEP or ZOOM so that the exact Length (Len) can be defined. The length can then be adjusted by selecting **Edit Wire**.

Alternatively the wire size can be directly input by clicking the right hand side Parameters menu window. Note that in the 3-D view window, you only can add a new wire that is connected to another existing wire.

Edit Wire

To Edit a wire, click the **Edit Wire** button in the menu panel, and click on the wire to be edited.

Press **DELETE** key to remove the wire, or click on an end of the wire and drag the wire to adjust the length to the required size. It may be necessary to change the STEP or ZOOM so that the exact Length (Len) can be defined. Alternatively right click to open the Editing pop-up window where the special functions can be accessed.

Loop definition mode

Click the □ (square) button in the menu panel to start the **LOOP** definition mode. Click and drag to place a new square loop. Note that this mode is not available in the 3-D view window.

 [return to index](#)

Element Editor

No.	Form	Int.(m)	Width(m)	Height(m)	Perim(m)	R(mm)	Seg.	Wires
1	V quad	1.57	1.0	3.06	8.12	Mixt	-1	7
2	V quad	Base element	1.0	2.99	7.98	Mixt	-1	7
3	V quad	1.11	1.0	2.94	7.88	Mixt	-1	7
next								

The ELEMENT EDITOR can be found in the EDIT drop down menu, or selected by the shortcut, CTRL-E, from any window. The editor is designed to simplify the input of data for complex antennas such as the 6 element Yagi or octagonal loop. Use of the Geometry window to input such data can be very tedious and may result in simple errors when specifying the elements using the X-Y-Z coordinates. The Element Editor simplifies this operation by providing a format that is intuitive. Values for width, length, perimeter, and element spacing are entered in the Element Editor table (shown above).

GETTING STARTED

It's a good idea to become familiar with some of the ELEMENT EDITOR's main features. These features are described in the following sections using a yagi antenna as an example.

CREATING THE BASE ELEMENT

Initially, define one element length of a Yagi antenna. Enter 1.00m in the width column of the blank table and press ENTER. The rest of the first line is populated automatically. The first cell in the form column displays "H Line" (Horizontal Line) and the first cell in the "Int" (Interval) column displays "Base Element".

ADD ANOTHER ELEMENT

Place the cursor in the second line below "H-Line" and press ENTER. A new pop-up window is displayed, select ADD to fill the second line. Note that MMANA-GAL copies the parameters of the front or back element. This is useful for defining a complicated element (e.g., an element with a capacity hat).

DELETE AN ELEMENT

To delete a line, place the cursor anywhere on the line, right click and select Del from the pop-up window.

NB. The Base Element cannot be deleted, the option being "greyed-out".

NOTE: If you delete any wires in the process of making the model, MMANA-GAL will renumber the wires starting from 1. But, it will not re-number the source wire. Make sure that the source is placed on the correct wire - it may often be necessary to zoom in to accurately place or replace the source, especially if an antenna image has a large number of elements.

CHANGE OF ELEMENT FORM

Move the cursor to the first cell of the Form column (it should be displaying **H Line**) and right or left click. In the pop-up window select **Change of Element Form** and from the pull down list select **V Quad**. The first line in the table will change, V Quad (Vertical Quad).

Vertical Quad appears in the Form column and the width changes to 0,5m . Select View, the simple single line element is now a square. It may be necessary to zoom in as these options are quite small. For practice try changing the first element to some of the other options e.g triangle.

EDITING VALUES IN THE ELEMENT TABLE

Place the cursor on the value that needs to be changed, and then hit backspace to clear the data area. Now type in the value required and hit return, the value will have changed. There are two radio buttons on the Element Table. When **Change only the end points** is selected, only the position of the end points of a selected element, which can consist of two or more wires, will be changed. Select **Change all coordinates proportionally** all of the associated wires will be changed proportionally on the X, Y and Z axes.

SPACING is defined as the distance between adjacent elements. The element having a branch toward X-axis (e.g., a capacity hat) is defined with respect to the center of the element. For this reason, it is a good idea to extend the capacity hat symmetrically with respect to the element.

ELEMENT MEASUREMENTS

When the Check box at the bottom left is ticked the table will show the the spacing between the wire elements.

When the check box is empty the table will show the distances from first wire element in the table.

When **lambda** is checked, the wire elements are measured in wavelengths, otherwise, the wire length is displayed in meters (radius is in millimeters).

PRINTING THE ELEMENT TABLE

From the PARAMETER View, right click to activate the pop-up window, and select **Print this table**.

SAVING THE TABLE DATA

From the PARAMETER View, right click and select **Save this table as file** from the pop-up window. The data is saved as a CSV file and can be imported into MS-Excel.

HINT. Initially MMANA-GAL scans the antenna definition to discover how the wires are connected together. Wires that have the same XYZ coordinates are assumed to be connected to each other. The program then analyzes each element's dimensions by looking at the vectors. MMANA-GAL will use different procedures during this analysis. e.g. if one of the elements has two or more loops, such as the Hentenna or Twin-loop antennas. The results of this analysis affects the OPTIMIZATION Process (described later). However, if, after optimizing an antenna, the results are quite different from the expected values, it may be necessary to change the order of element definitions by using the "Edit by text function" in the tool bar Edit menu.

N.B. The order of the elements may change if elements are deleted or added, therefore it may be necessary to alter the position (wire number) of a source and /or load.

[▲ return to index](#)

Tips on Editing

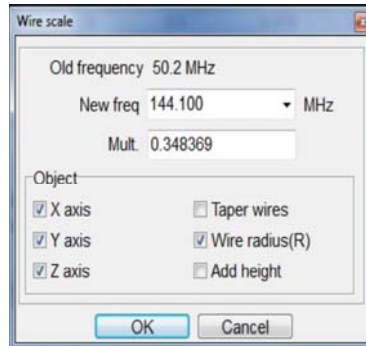


The **Search & Replace** (S&R) tool can be selected from the **EDIT** menu or by using the short cut **CRTL-R**. The tool is provided to simplify making changes to complex antennas, e.g. to change the height of a multiple loop antenna. The search tool is very easy to use and is self explanatory.

The tool will also replace **mirror coordinates** if the check box is checked. Positive and negative values are compared to their absolute values, e.g. replacing 3 with 4 also replaces -3 with -4.

The S&R tool can be used to exchange the X- and Y-axis values, the Y- and Z-axis values, or the Y- and Z-axis values, and is useful for changing the antenna's polarization from vertical to horizontal.

Wire scale



The **Wire Scale** tool can be selected from the **EDIT** menu

NB, there is no short cut for this tool.

The tool can be used to enlarge or reduce the size of the antenna. This is very useful when re-scaling an existing antenna design to a different frequency. The re-scaled antenna may require additional fine tuning.

Note that the **Search & Replace** tool (see above) does not rescale any loads. This must be done separately.

The load design tool can be selected from the **SERVICE** menu > **Options and Setup** or by right clicking on the toolbox icon on the Toolbar.

TUNING AN ANTENNA MODEL

To optimize an antenna quickly and accurately when the calculated results indicate that the model is not as required, use the following method.

This example is for a centre fed 12m dipole 10m above ground for a design frequency of 14.15MHz. In MMANA-GAL Y1 is set to 6m and Y2 is set to +6m, over a Real Ground

- 1. In the **Calculate** window press the **start** button. The results should show an SWR of 11.5:1
- 2. Left click on the **PLOTS** button at the bottom of the window. In the **Plots** pop-up window click on the **Z** tab and left click on the **RESONANCE** button.
- 3. A new pop-up window will appear with "write current frequency to the table F,SWR, gain ,Z ". Left click on **YES**. MMANA-GAL will run several sets of calculations and draw graphs for F,SWR, gain ,Z
- 4. On the Impedance plot note the off-tune frequency when the **jX value is a minimum. i.e zero (0)**. This is at 12.262 MHz
- 5. Return to the Geometry screen and enter 12.262MHz in the Frequency box at the top right side of the screen. Click the Calculation Tab
- 6. The Calculation Screen should be showing 12.262. MHz. Run the calculation again, the SWR will now show 1.85:1
- 7. On the Tool bar click **EDIT** then wire scale. In the wire scale pop up window enter 14.15MHz and then close the window and return to the Calculation screen. The frequency should be showing 14.15MHz.
- 8. Run the calculation again, the SWR should now be 1.55:1 The antenna has now been tuned.

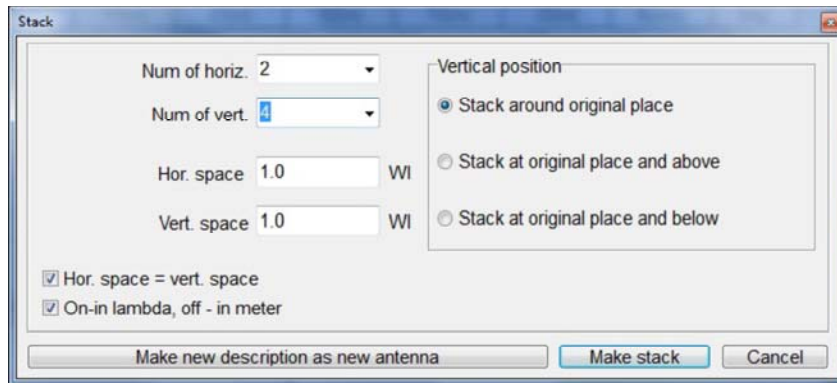
Round value

This function is used to reduce the number of decimal places that are shown for the dimensions and calculated values. The program caters for 2 to 5 digits. Round works on all the parameters including wire coordinates, radius, and lumped-constant load.

Stacking two or more antennas

MMANA-GAL has a special function that copies the original antenna, and will stack the antenna(s) either in a vertical or horizontal array. It is advisable to first save the original antenna *maa with a new file name. This is because once the stack has been created using the **Make new description as new antenna** button, there is no way to undo the result.

To access this special function go to the Tool Bar select **EDIT**, and then click on **Make Stack**. The pop up window shown below will appear.



STACKING OPTIONS

A good example to experiment with is the MMANA-GAL VHF 6m Beam - model 6el Yagi.maa

Copies of the Antenna

In the following explanation Basic-el refers to the original antenna that is being stacked. The Make Stack tool allows the Basic-el to be stacked in multiples of 1-8 in the horizontal plane and of 1-8 in the vertical plane.

N.B, the total number of antennas must not be greater than 64.

The MMANA-GAL drop down menu offers 1,2,4 or 8 copies but an intermediate number can be entered by backspacing over the number and entering a new value.

The stacking can be ordered horizontally, vertically or by both planes simultaneously. The results can be checked by clicking on the View Tab.

However, to return back to the "Stacking" tool you have to go to the Tool Bar select **EDIT**, and click on **Make Stack**.

You can overwrite the values in the Num of Horizontal or Num of Vertical boxes.

Cancel is used to exit the Make Stack tool.

Antenna Spacing

The antennas are spaced in terms of wavelength (**WL**) either as a number (1.25) or as measurement 5.936 metres. The spacing of the antennas in the horizontal and vertical planes can be changed if necessary. The Hor space = Vert space check box is used to maintain spacing symmetry.

Vertical Position (offset from the origin 0,0,0)

The resulting stacked antenna model can be seen using the **VIEW** Tab, and is displayed with the X,Y and Z axis superimposed. MMANA-Gal offers three choices for the "stacked" array which can be selected by using the mouse.

- **Stack around original place.** This choice centralizes the stack about the origin 0,0,0
- **Stack at original place and above.** This choice displays the stack above the origin 0,0,0
- **Stack at original place and below.** This choice displays the stack below the origin 0,0,0

To make your stacked design permanent, push the **Make new description as new antenna** button in the **Stack** window. However once this is done it is impossible to revert back to the original design, i.e. a single antenna.

The **Make Stack** tool is used to implement a phased driven or a unbalanced driven antenna.

Please note that the total number of antennas (N) = [number of horizontal] x [number of vertical] antennas = 64.

Therefore the original antenna model design parameters are all scaled up by a factor of N :

- Number of pulses: $n \cdot N$
- Number of wires: $n \cdot N$
- Number of sources: $n \cdot N$ (voltage = $1/N$, identical phase)
- Number of lumped-constant: $n \cdot N$

where n was the original antenna's "number" for any parameter

Note that when making a vertical stack, the vertical position choice affects the calculation with respect to ground. An error message will be displayed if the **antenna height** places the antenna "below ground"! It is also important to note that the vertical position is not considered in the free space calculation. Therefore, the model may work in **Free space** but produce an error message when **GROUND** is set to **Real**.

[Type - > or - > *]

L0	L1	L2	L3	L4
-----+-----+-----+-----+-----				
R0	R1	R2	R3	R4

You can use " <> " or " <> * " for Yagi antennas, and " -> " or " -> * " for vertical antennas.

For instance, an antenna element consist of 3 tubes of differing diameters:-

Diameter	Length
30 mm	2 m
25 mm	1.8m
20 mm	Variable (towards the end)

Use the following parameters

L0=2 R0=15
L1=1.8 R1=12.5
L2=99999.9 R2=10

An antenna element setting of 99999.9 (eg L2=99999.9) indicates that there are no further antenna elements. If L3 is set to 0, L2 automatically becomes 99999.9.

[Type <> or <> *]

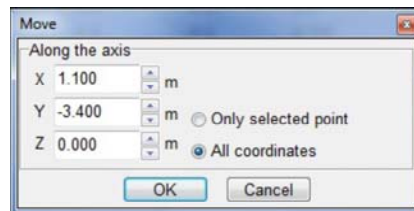
2.2m	1.8m	2m	1.8m	2.2m
-----+-----+-----+-----+-----				
20mm	25mm	30mm	25mm	20mm

[Type -> or -> *]

2m	1.8m	6.2m
-----+-----+-----		
30mm	25mm	20mm

In the antenna **View** window, the tapered element is displayed with the connecting points marked with a **blue square** . Right click on the element to verify the combination. You should pay careful attention to the segmentation for a combination of elements. Even if you specify equal segmentation, the actual segmentation will not follow this rule because of the element's construction. You have to adjust the **DM2** value using the Antenna **View** (and increase the value to 50 or 60).

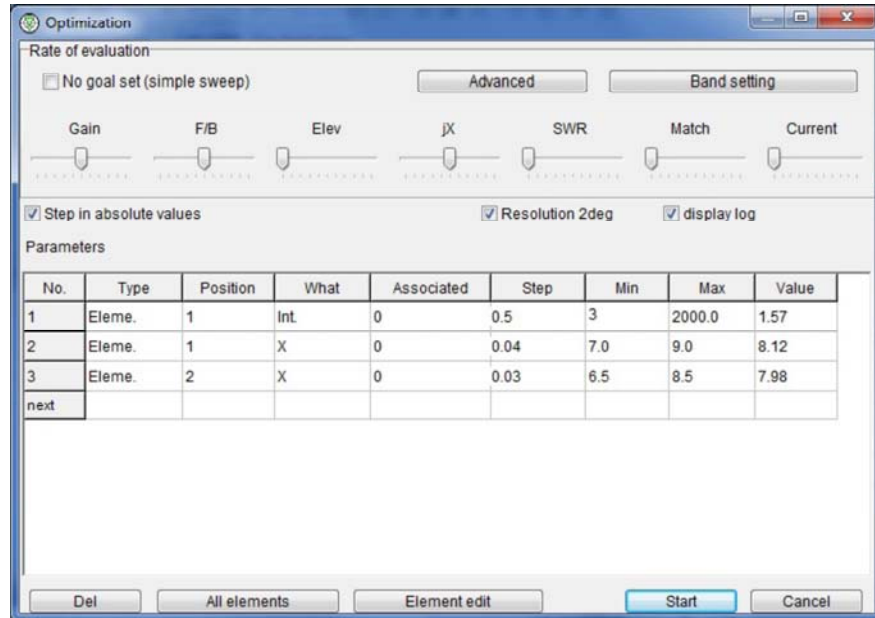
Move



You can move the selected wire to any direction parallel with X-, Y-, or Z-axis.

[return to index](#)

Optimization



Automatically optimizes the antenna giving consideration to various parameters. Select the **Optimization** in the view menu or push the **Optimization button** in the calculation window to open the optimization window. The goals of the optimization are:

- Minimize the **jX** (get the antenna resonant)
- Minimize the **SWR**
- Maximize the **gain**
- Maximize the **F/B** ration
- Minimize the **elevation** of the beam
- **Matching** circuit
- Maximize or minimize the **current**

In most cases, these parameters are in the 'trade-off' condition. You can select the parameters that you focus on using the slide bars in the top of the window. As you slide the bar to right, the selected target is prioritized. As you slide the bar to the left end, the target is ignored.

If you check the **No goal set** box, MMANA-GAL simply sweeps the parameters regardless of the state of the slide bars. MMANA-GAL increments the parameter from the current value to the Max value. This is useful to observe the antenna behavior from the viewpoint of the height or frequency.

Push the **Advanced** button to set the target at length. Assume that you are happy if the antenna has 20 dB F/B ratio. Put 20 in the F/B ratio box. MMANA-GAL attempts to optimize the other parameters if the antenna already has 20 or more F/B ratio.

Push the **Band setting** button to get the dialog box, with which you can specify the band frequency and the source. This is useful for optimizing a multi-band antenna. In default, MMANA-GAL tries only one band and source as specified.

Matching circuit is one of the hairpin match, capacitance match, and any Z. The hairpin match has minus jX (capacitive) and the capacitance match has plus jX (inductive).

Current optimization attempts to maximize or minimize the specified pulse point.

The antenna parameters that MMANA-GAL changes during the optimization procedure are:

- Wire coordinate and radius
- Wire length, azimuth, and zenith (in polar coordinates)
- Element width, perimeter, and radius
- Parameters of lumped-constant load
- Antenna height
- Frequency
- Voltage and phase of the source
- Stack space

You can set the parameters above as up to 128 variables. Hit return key or click on the type field to display the type selection pop-up menu. Hit return key on the what field to pop the menu up. Input a value manually to other fields.

Wire coordinate and radius

These are most basic variables. You can change the X1, X2, Y1, Z1, Y2, Z2, and R of the wire. If the specified wire changes its coordinates, the connected wires also changes together to keep them connected. This method should be useful for the fine-tuning. Unit is always meter. Pos. is the element number.

Wire length, azimuth, and zenith (in polar coordinates)

You can change the wire length and angle with respect to the reference point in the polar coordinates. This is useful for optimizing the length or the angle of the inverted V and V beam. It should be noted that you must not set the element position or space as the variable if you change the X-axis. MMANA-GAL does not prevent it but may not update the optimized results.

When the coordinate of the wire is changed, the connected wire moves together with it. Pos. is the wire number. The step unit is meter or degree.

Element

The parameters that define the element can be set as the variable in the optimization. For a yagi antenna, for example, they are the element space, position, and width. For a loop antenna, they are space, position, perimeter, etc. Pos. is the element number. Unit is always meter.

Lumped-constant load

LC or R+jX can be set as the variable. If you want to change two loads in both ends of the element (e.g., loading DP or trapped yagi), you can use 'association function,' . If both L and C are specified in the definition, MMANA-GAL treats them as a trap and keeps the resonance frequency unchanged. For example, if L is increased, MMANA-GAL automatically decreases C. **Pos.** is the number of lumped-constant loads. Unit of L is uH. Unit if C is pF. Unit of R is Ohm.

Antenna height

Unit of the variable is meter.

Frequency

Unit is MHz. If your target antenna is a multi-bander, do not use the frequency as the variable.

Source

MMANA-GAL changes the phase and voltage of the sources. **Pos.** is the number of source. Unit of the phase is degree. Unit of the voltage is V.

Stack space

Unit is meter. If you set **space** in the what box, the vertical and horizontal spaces are changed at the same time.

Association

If you put 0 to the association box, the parameter changes freely as an independent variable. If you put a plus number, it is assumed to have the same variable that the number points to. If you put a minus number, it is assumed to have the same variable negated that the number points to. You can put a simple equation, too. The operators supported here are +, -, *, and /. It works like a primary spreadsheet.

[Examples of association]

- 0 Not associated (independent variable)
- 1 Associated with variable 1 (the same value of variable_1 is put there)
- 5 Associated with negated variable 5 (- variable_5)
- 1*1.05 Associated with variable_1*1.05 (variable_1 * 1.05)
- 2-1.5 Associated with variable2_-1.5 (variable_2 - 1.5)
- 3+1.2 Associated with 1.2 - variable-3

If you optimize the positions of the traps of a multi-band dipole, you should want to move two traps proportionally to the center of the antenna. You define two variables, Y1 and Y2, which specify the trap positions. The center of the dipole must be $Y = 0$. Define Y1 as an independent variable (association of $Y1 = 0$), and Y2 as Y1's negated value (association of $Y2 = -1$). You can make use of the automatic association by right click at the variable box. MMANA-GAL makes a guess what should be the target of the association. This method can be used to move the center wire of henna or tri-hat antenna.

Pitch specifies the minimum step of variable change in either an absolute value or a percentage. Large pitch makes the convergence fast but will not reach the best result.

Min and **Max** defines the range of the variable. The variable does not become smaller than Min or larger than Max. You could specify other variable with # followed by the variable number. If you put #1 in the **Max** box for example, the Max value is set the value of variable 1.

If you do not put **Max** value to the element space of Uda-Yagi antenna, MMANA-GAL might give you much larger space than you expected. If you do not put **Min** to the width or perimeter, MMANA-GAL might shrink one of five elements of Uda-Yagi antenna and configure a four-element Uda-Yagi antenna as a result. It is a good idea to see how the antenna dimension is being changed in the antenna view window during the optimization.

Push the **Delete** button to delete the variable where the cursor resides.

Push the **All element** button to make MMANA-GAL add all the parameters to the optimization variable list. If the space check box is checked, the element space is used. If not, the absolute position of the element is used.

Push the **Element edit** button to start an element selection view. Move the cursor to the variable that you want to vary in the optimization procedure, and push the **OK** button. MMANA-GAL registers the variable for the optimization. The variable marked with * is already registered. If you want to do this with the 3-D view, select the wire selection tab. Click the wire you want to add as a variable. Push the **OK** button. The wire already registered as a variable is shown in red.

Step in absolute values: if checked, put an absolute value to the pitch. If not checked, put a percentage value.

Resolution 2 degrees: MMANA-GAL calculates the beam pattern every 2 degrees. It shortens the calculation time, but degrades the accuracy particularly for the high-frequency antenna with a ground.

Display log: the intermediate states of the optimization procedure are displayed in the log window.

Push the **Start** button to start the optimization. Even during the optimization, you can see the wire definition, the antenna view, or the far field pattern in real time. Note that the MMANA-GAL is dedicated to the optimization; the response of the mouse should be very slow.

Needless to say, MMANA-GAL works on the Windows operating system, so you can do another job even during the optimization. You could execute two MMANA-GAL at the same time. You can run the optimization in one window and design an antenna in the other window.

Optimization log

The optimization routine would not always judge the result, which one thinks the best, is the best. This might be due to the fact that the rate of evaluation is different from that the designer expects. You can read the optimization log by pushing the Optimization log button at the bottom of the Optimization window. It shows up to 128 latest steps of the optimization. You can select one of the steps and get it back to the optimization window so that you can manually pick out the optimization result you think best

Tips on the optimization

Changing one parameter at a time to maximize the target value and repeating it for other parameters as well, gives fast convergence and good results.

This procedure, however, would not always give the real optimized solution that the one-by-one method gives. It could terminate the optimization just after finding a local minimum. If you are not satisfied with the result, change the parameter manually and retry the optimization.

The result could depend on the parameter order. MMANA-GAL attempts the optimization by changing No. 1 parameter first and then does No.2 parameter. It is a good idea to put the most effective parameter in the first place of the variable parameter list.

Pursuing the gain often results in the low impedance. The very low impedance makes the sustainable bandwidth narrow, and the wire loss cannot be ignored. It is difficult to implement the very low impedance antenna in the real world. Consider SWR in the optimization for obtaining reasonable results.

If you put two or more bands, MMANA-GAL attempts the optimization in each band and sums up the evaluation rates. Only the first feeding information is displayed.

To keep the performance even in the band edge, put the band edge frequency as well. However, it increases the calculation time for the convergence. I am not sure if you could achieve good results.

In case of Uda-Yagi antenna, the moment method is weak in the calculation speed, so I recommend you use another analyzing tool that uses the electromotive force method.

Optimization goals

- If your goal is **Z**

Push **Options** menu, select **Options** and setup , click on the **Setup** tab, and input R and jX in the **Standard SWR** pane. Set the target to the **SWR** minimization and start the optimization.

Another way to this is: push **Options** menu, select **Optimization** , push **Advance** button, select **Goal tab**, check **Optional Z**, and put your R and jX. Set the target to the matching circuit and star the optimization. Do not set the target to SWR or jX.

- If your goal is **R**

Push **Service** menu, select **Optimization** , push **Advance** button, select **Goal** tab, check **Optional Z** , and put your R. Put * to jX. Set the target to the matching circuit and star the optimization. Do not set the target to SWR or jX.

- If your goal is **jX**

Push **Service** menu, select **Optimization** , push **Advance** button, select **Goal** tab, check **Optional Z** , and put your jX. Put * to R. Set the target to the matching circuit and star the optimization. Do not set the target to SWR or jX.

- If your goal is to get the voltage fed antenna resonant

Push **Options** menu, select **Optimization**, push **Advance** button, select **Goal** tab, check **Optional Z**, and put 10000 to R. Put 0 to jX. Set the target to the matching circuit and star the optimization. You may put a little value to jX. In case of the end-fed antenna, put * to jX.

*Note: If you put * in R or jX, the marked value are not taken into consideration in the evaluation.*

- If your goal is beam pattern

Push **Service** menu, select **Optimization** , push **Advance** button, select **Environment** tab, put 180 to **Azimuth**, and put 90 to **Vertical** . Set the slider bars of the Gain and F/B rates around the center, input your SWR, and start the optimization.

- If your goal is a broad band antenna

Set two or three frequency spots as the bands in the Band setting window. It is recommended to minimize SWR rather than jX because R will not vary much (set SWR to the target beforehand).

- If you want to keep the boom length

Use the element position as a variable. Bear in mind that you have to keep the front-end and back-end elements fixed. In other words, you use the positions of the elements except for these two elements. To automatically register the element position as a variable, you should uncheck the Distance from the active element box in the **Edit element** window.

All elements button in the optimization

When you push the All elements button in the optimization window, MMANA-GAL automatically uses the following parameters as variables: Loop length, space (or position), Width, length, X-width, space (or position). MMANA-GAL analyzes the relative positions of the elements and assigns the variables in the order of the radiator, reflector, and directors (d1-dn).

If two or more elements have the identical X-axis value, they are assumed to be connected. MMANA-GAL makes them associated. If an element has two or more variables in the width, length, and X-width, MMANA-GAL asks the user how they should be treated (a dialog box appears).

MMANA-GAL does not automatically make association between the elements that have different X values. In such a case, right click on the optimization window to get the pop-up menu, select the element association. You can make association the element with the other element that have different X value. This technique would be useful for the antennas, such as a surface antenna, which has many elements in the same size and space.

When you push the All elements button, MMANA-GAL puts a typical value to the pitch. You may change the value as you like. The pop-up menu provides a means to give the identical pitch to the all variables.

Resonance frequency of the element

It should be useful for the antenna construction to have the resonance frequency of each element by using the antenna simulation. Put the source to the target element. Set the frequency as the variable and set jX to the goad. jX = 0 indicates the resonance, so the obtained frequency is the resonance frequency.

Optimizing example

To optimize the positions of the traps of a multi-band dipole specified on the Geometry page, the two traps will need to be repositioned equally about the center of the antenna using two variables, Y1 and Y2, to specify the trap positions, and dipole center must be at $Y = 0$.

Demonstrating the Optimization Process using the Dual Band 7/10MHz Dipole with LC Trap from the MMANA-GAL Library, file ANT\HF multibands\LC in antenna\Dipole_7-10.maa.

First run the calculations for 7.05MHz & 10.12MHz to show that antenna was already "optimized".

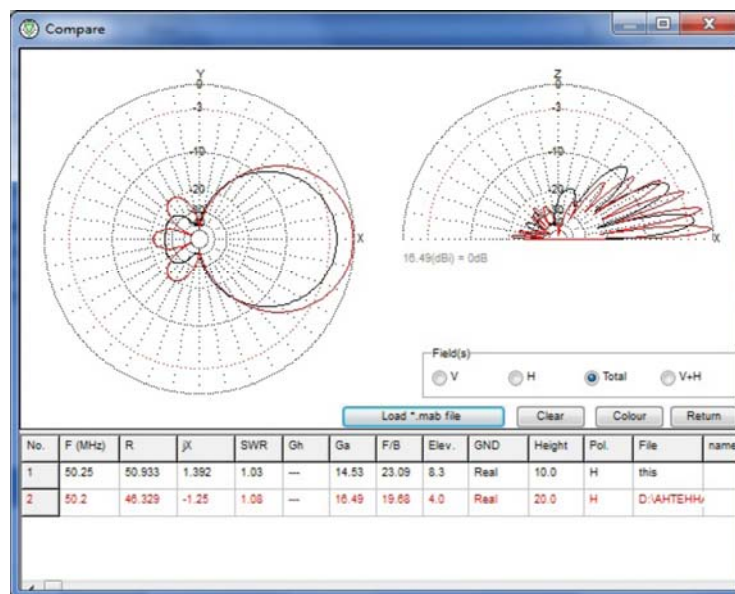
Then On the **Geometry Screen** change the **Y2 values in lines 2 & 3** from 8.66 top 9.0 and -8.66 to -9.0 to de-tune the antenna on 40m !

On **Calculate Screen** re-do the calculations again by **Clicking on Start**, the results now show the SWR on 7.05MHz to be 376:1!

Click on the button **All elements** on the **Optimization screen** and **Click on START** optimization

[return to index](#)

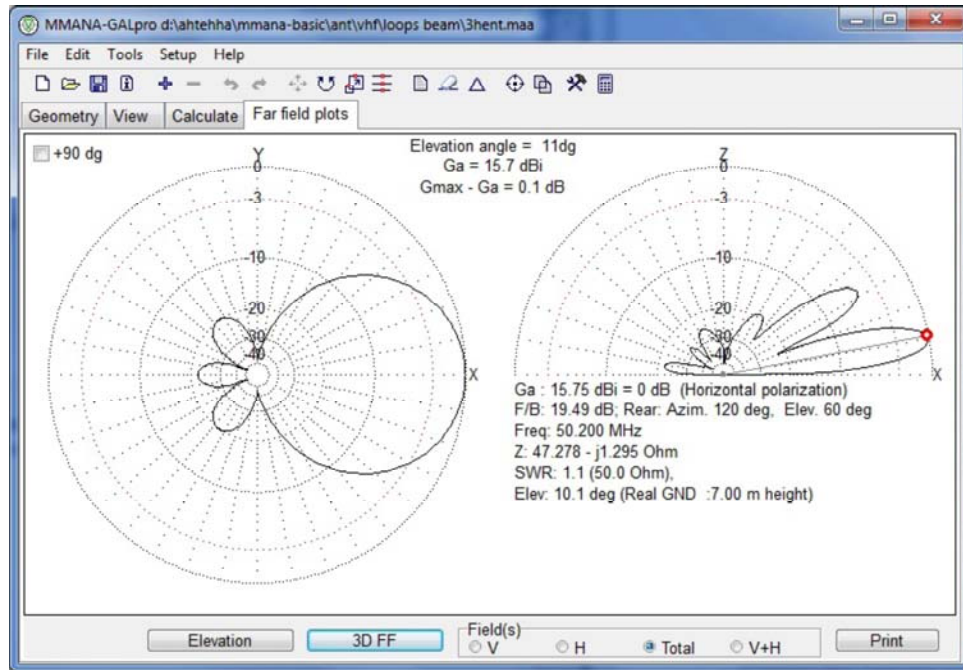
Results Comparison



This tool enables comparisons to be made of any previously stored calculations. You can compare changes made to the same antenna or compare the far field plots of different antennas. However, all previous results must be saved in *.mab files.

[return to index](#)

Far fields plots



The **Far field** plot screen shows the beam pattern. The left chart shows the horizontal pattern. The right chart shows the vertical pattern.

The vertical pattern is obtained by slicing the horizontal pattern with the vertical plane that includes the X-axis. The horizontal pattern is obtained at the horizontal plane that has an **elevation peak**. However, if the elevation angle is greater than 87 degrees, MMANA-GAL shows the horizontal pattern at 45 degrees in elevation.

To change the elevation, push the **Elevation** button. The F/B ratio and other results are recalculated.

The angle of resolution in both horizontal and vertical patterns is 1 degree. The elevation, on the other hand, has 0.1-degree resolution. Special care should be taken with very high antennas with respect to wavelength. An antenna of this sort may have a very sharp vertical beam pattern and may not be correctly detected by MMANA-GAL. This will affect antennas for 1.2 GHz or higher.

The **Fields screen** allows you to select horizontal or vertical polarization in the electric field. You can select the following views:

- Horizontal Polarity (H)
- Vertical Polarity (V)
- Total (aggregation, set default)
- Superimposed (V+H).

Double left click on the pattern generates a measuring vector at that radial position. Left click and hold to drag the vector to a new location. Vector off by right click on the pattern.

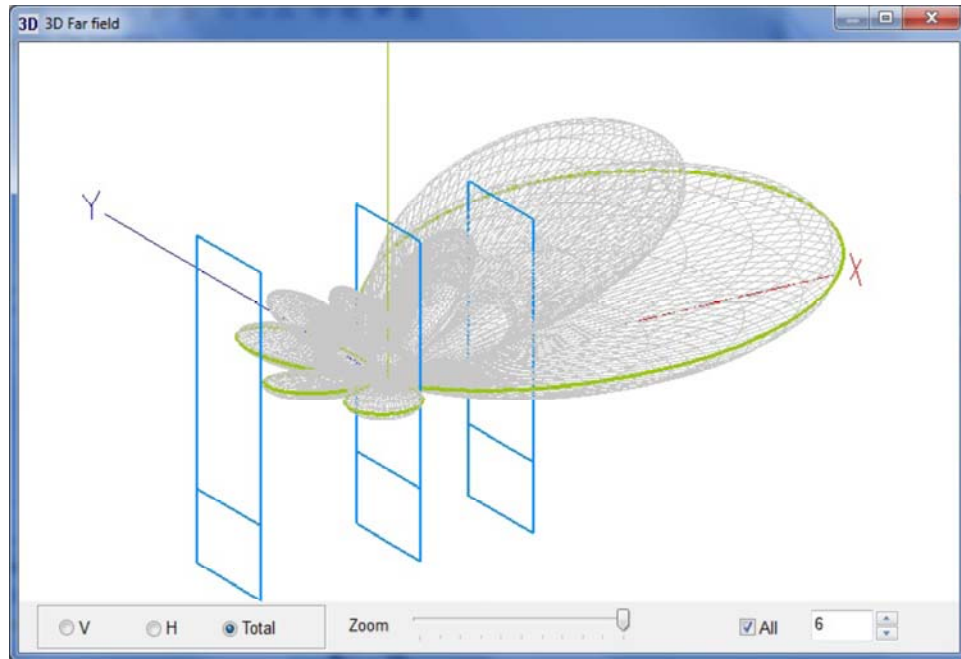
To print the beam pattern, push the **Print** button and proceed with the dialog box. Select the required paper size. MMANA-GAL automatically resizes the printout in accordance with the paper size.

To save the pattern in bitmap format, push the **Alt-Print Screen** button on the keyboard. The selected window is graphically copied to the clipboard. You can then use it in an image tool, such as Paint Brush.

3D FF button call window [3D FF](#).

[▲ return to index](#)

3D pattern

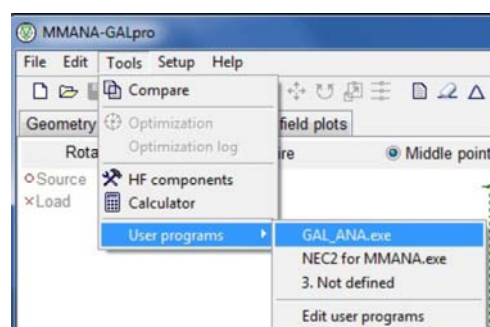


Right click to display the **3D setup** pop-up menu, which is used to:

- Alter the diameter of the the element,
- Superimpose the antenna on the far field plot,
- Change the colour of the Far Field Radiation,
- Save screen image in *.jpg or *.bmp formats
- Reposition the antenna image

[return to index](#)

Add-on Utilities



Tools > User programs.

MMANA-GAL can run additional utilities, for example:

- [GAL-ANA](#)
- [NEC2 for MMANA](#) this can be down loaded from [MMHAMSOFT](#),
- etc.

[return to index](#)

Tools HF components

The **HF components** pop-up window for the antenna matching can be found under the **Tools** option on the Tool Bar . The pop-up offers several options which are detailed below. MMANA-GAL automatically populates the fields in the options making it easier to match the antenna being modeled.

Resonance

MMANA-GAL calculates the values for L in uH or C in pF value according to the frequency used on the Calculate Tab, and also provides the reactance value for both.

HF components

Resonance | Coil | LC-match | Line match 1 | Line match 2 | Stub

Frequency 7.05 MHz

Reactance 3790.73 Ohm

L 85.576 uH

C 6.0 pF

☒ Fixed frequency

wl = 42.525 m
1/2 = 21.262 m
1/4 = 10.631 m
5/8 = 26.578 m

Cancel

Matching is achieved by providing the complementary values to those shown on the Calculate Tab.

Coil

Designing a Single Layer Coil Inductor.

HF components

Resonance | Coil | LC-match | Line match 1 | Line match 2 | Stub

L 85.576 uH

Number of turns 10.0

Diameter of coil 42.61 cm

Diameter of wire 1.0 mm

Between turns 1.0 mm

Length of coil 2.0 cm

Computation

☐ L

☐ Number of turns

☒ Diameter of coil

Cancel

Coil enables you to design an air-cored coil based:

- Coil diameter
- Coil length
- Wire turns
- Wire diameter & spacing of turns
- Inductance required

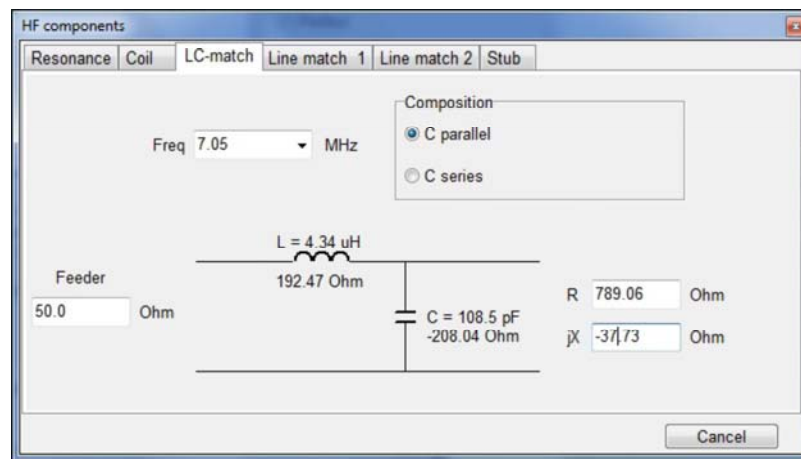
MMANA-GAL populates the template with some default dimensions, and the inductance it has calculated for resonance. If the default dimensions are not appropriate e.g wire size is too small, the new value can be entered and MMANA-GAL will automatically re-calculate with the new values.

Please note that the template can be used on its own to design any single layer coil by entering the required values in the various fields. The required calculation is selected by the Computation Box.

Note, however, that this calculation is not completely accurate and some level of error can be expected.

LC match

The LC matching circuit, is a design that is often used with short (with respect to a $1/4$ wave) wire antenna.



It is worth noting that a small value of the reactance (a few ohms) behaves more like a short circuit, and that a large value of the reactance (>1000 ohms) behaves more like an open circuit (insulator). This matching circuit is often used in automatic tuner (ATU) designs, where combinations of L & C are switched into circuit using microprocessor controlled relays until the SWR is minimized.

MMANA-GAL ignores any loss in R, also generally speaking the larger the value of L (uH) or C (pF) the larger the loss. L should NOT have a much larger loss (dB) than C, consequently the value L (uH) should be kept as small as possible to maximize efficiency.

Line match (SERIES-SECTION TRANSFORMERS)

The series section transformer has advantages over the stub-tuning or $1/4$ wave transformer and is similar to the $1/4$ wave transformer, which is a special case series section transformer.

The main differences being:

- the matching section does not need to be located at the load
- the matching section can be $< 1/4$ wave length long
- there is a free choice of the characteristic impedance of the matching section. Using this technique it is possible to use a 300 ohm line to match any resistance from 5-1200 ohms.

MMANA-GAL provides a design template to simplify the procedure. The program pre-loads the R=JX values from the Calculate TAB and allows the user to select the Characteristic impedances.

HF components

Resonance | Coil | LC-match | **Line match 1** | Line match 2 | Stub

Impedance

Zi: Ri 49.2 Ohm, Xi -0.16 Ohm

Line: Zo 75.0 Ohm, Loss 0.0 dB, L 0.22 wl

ZL: RL 109.0 Ohm, XL -17.88 Ohm

SWR (75.00)=1.525

Q-match

Ri 50.0 Ohm, SWR(50.00)=1.017

Line1: Zo 75.0 Ohm, L1 0.21858 wl

Line2: Zo 50.0 Ohm, L2 0.02888 wl

ZL: RL 109.06 Ohm, XL 17.73 Ohm

TUNE

Cancel

This tool is used for the calculation of impedance, Q-match section and a series-matching section using a distributed-constant circuit (e.g., a ladder feeder and a coaxial cable). The impedance is calculated by obtaining the impedance of the output end of the feeder with respect to the impedance of the input end. To make use of this process, the antenna impedance can be measured by using a coaxial cable of arbitrary length and a noise bridge. The SWR is reduced if there is a loss in the transmission line, the theory will be explained in most antenna handbooks.

The Q-match section calculates the lengths of the two series-section transmission lines, when the TUNE button is clicked with the mouse. The lengths are those that will result in a minimum SWR with respect to the input end (Ri).

MMANA-GAL assumes a no loss transmission line. The impedances at the center and input end of the line are displayed in the impedance boxes at the top of the window. The line length (L) is measured in wavelengths, and may require correction based on the velocity factor of the feeder to calculate the physical length.

Line match 2

This is a combination of a shorted stub and an open-stub connected in parallel at the feed point to match the input impedance Zi. It is useful to think of this arrangement as two section of transmission line, a capacitance (open-section) and an inductance (shorted section) of lines connected in parallel.

HF components

Resonance | Coil | LC-match | **Line match 2** | Stub

ZL: R 20.06 Ohm, X -30.73 Ohm

Line set: Zo 600.0 Ohm, Vf 0.95

F 7.05 MHz, Zi 50.0 Ohm

TUNE

Var 1:

- L1 = 0.0017lw (6.9 cm)
- ZS = 20.04-j24.31 Ohm
- XS = 40.83 Ohm (0.92 uH)
- L2s = 0.0108 wl (43.7 cm)
- L2o = 0.2608 wl (1053.7 cm)
- Zi = 49.54+j0.00 Ohm
- SWR: 1.01

Var 2:

- L1 = 0.0147lw (59.4 cm)
- ZS = 20.04+j24.67 Ohm
- XS = -40.95 Ohm (0.9 pF)
- L2s = 0.4892 wl (1976.1 cm)
- L2o = 0.2392 wl (966.2 cm)
- Zi = 50.40+j0.00 Ohm
- SWR: 1.01

Cancel

The combination Stub match is calculated using the following parameters; ZL for the load (antenna) impedance, Zo for the feeder impedance of sections L1 and L2, and Zi for input impedance to the radio or transceiver.

The SWR is calculated on a basis of the feeder impedance Zi. Please note that MMANA-GAL assumes no loss transmission lines. In practice the final values of L1 and L2 will be affected by transmission line's velocity factor (Vf) and additional losses specified at various frequencies by cable manufacturers.

Push TUNE button to calculate the L1 and L2 that give the minimum SWR. The MMANA-GAL software offers a maximum of two solutions, but occasionally may not find a solution.

- L1 – Distance from the load to the stub.
- ZS – Impedance at the stub (in case of no stub).
- XS – Stub reactance.
- L2s – Stub length (short stub.)
- L2o – Stub length (open stub).
- Zi Impedance at the source (SWR impedance).

Stub Match

The shorted stub is frequently used to provide a match, and behave like an inductor.

The open-end stub can also be used when the match will behave like a capacitor.

Click on the required type of stub in the STUB selection box.

Matching can also be done by using a lumped-constant load in the stub. Insert XS as an inductance (coil) or a capacitance (capacitor).

The Stub tool caters for the most commonly used twin-feed transmission lines and coaxial cables in a special look-up table within MMANA-GAL. The line that is required can be selected using the mouse on the Type of Line drop down window. The example above shows the line as RG213 and has automatically inserted the stored value for Vt as 0.67, and the Characteristic impedance Z0 as 50 Ohms.

Stub Tool also calculates the frequency that the calculated matching length is a 1/4wavelength, in the example shown 59.37cm is a quarter wave at 84.587MHz..

MMANMMANA-GAL files

Directory ...MMANA-GAL\ANT\ is the antenna library. This directory has approx. 400 *.maa files sorted into thematic directories. In fact, the library is a good antennae reference book, and is also a good place to start getting to know the MMANA-GAL modeling program. New users should try exploring the library and trying out a few of the models to see how the various functions of the program work. But remember not to save any files with the same name just in case the file gets modified -"corrupted" and is no longer correctly optimized etc.

*.maa – Antenna definition file

123 is a simple text file recording the wire definition, sources, lumped-constant loads, etc. This file can be viewed and edited with an external editor such as Windows' Notepad . The parameter formats are self-explanatory.

*.mab – result file

MMANA-GAL allows users to save the results of **Calculations** in a special file (antenna name.mab).

By default the *.mab file is stored in the same directory as the antenna file. Note that if this is a new antenna project it is advisable to first save the file in a suitable directory in the MMANA-GAL Library e.g C:\...MMANA-GAL-ANT\my antennas/.

Old and new antenna models can be compare graphically by using the *.mab file in conjunction with the latest calculation results. The [compare](#) tool will initially display the antenna's far field plots for the latest calculation and, by uploading previously saved results in the "antenna".mab file , the [Compare](#) tool will superimpose the old results onto the plots and provide a visual comparison of the before and after of any changes.

Note :

1. The *.mab is a binary file recording the calculation results. The file cannot be edited.
2. However it can be overwritten and deleted if Windows explorer is used.

*.mao – Optimization sheet

This is a binary file recording the optimization results, and cannot be edited. It records the optimization history, with which you can retrieve the previous optimization results.

*.csv – current file

This is a text file recording the currents and their phases relating to the pulse number and coordinates. The file is in CSV (Comma Separated Value) format, and can be imported and read using a spreadsheet program, such as Microsoft Excel.

Each row consists of the following parameters. Wire number, Pulse number, X, Y, X, Current (real), Current (imaginary), Current (absolute), phase. Units are:

. X, Y, Z	metre
Current	Ampere
Phase	degree

*.csv – Near field data file

This is a text file (CSV format) recording the electromagnetic force in the near field. Each row has the following parameters: X, Y, Z, Vector, Electric force (real), Electric force (imaginary), Electric force (absolute), phase. Units are:

. X, Y, Z	metre
Electric force	V/m
Magnetic force	AT/m
Phase	degree

*.csv – Far field data file

A text file (CSV format) recording the absolute gain with respect to the azimuth and zenith. Each row consists of the following parameters: Zenith, Azimuth, Vertical polarization, Horizontal polarization, V+H. Units of them are:

. Azimuth, Zenith	degree
Gain	dBi

*.csv – Frequency characteristics data file

A text file (CSV format) recording the R, jX, SWR, Ga, and F/B.

[▲_return to index](#)

Setup

Rear range of the F/B ratio

This specifies the range of rear angle used for the F/B ratio calculation.

To enable the rear lobe in the range +/- 60 degrees insert 120 for the Azimuth. Any value between 0 and 359 can be used. For instance the side lobes could be taken into consideration by setting the value to 270.

From a vertical perspective, MMANA-GAL searches the lobes to identify the peak point of the front beam. If Vertical value is not set to zero, MMANA-GAL searches the lobes from zero degrees to the specified angle towards the back of the antenna. Any value between 0 and 179, can be used, allowing the high-angle front lobes as the F/B ratio to be displayed

Standard Z for SWR calculation

The impedance for the SWR calculation. The default is 50 Ohm.

Using this, you can see the SWR with a matching circuit. In this case, however, the matching circuit has a very broad characteristic in terms of frequency, and therefore the SWR is different from the actual value.

Push the **Hairpin match** button and input the target Z value to calculate jX of the hairpin match. If you want to use a capacitive match, input a plus jX. In either case, the target Z must be greater than the reference R.

Current display - Specify direction

Displays the current direction in the antenna view window.

MMANA-GAL will not always give the correct direction, as this depends on the antenna configuration.

Last files (menu)

The number of file names shown in the File drop down menu. The MMANA-GAL only check-box controls what is displayed in the MMANA antenna file directories. When the box is not checked the *.mab and *.mao files are also displayed.

Maximum pulses

Maximum pulse number that MMANA-GAL can use. The software auto detects the amount of free RAM in the PC.

The amount of memory required to store the impedance matrix. For calculation 8192 pulses required 512MB free RAM.

[▲ return to index](#)

Customizing User language

MMANA-GAL can display labels and program messages in your native language. Follow these instructions :

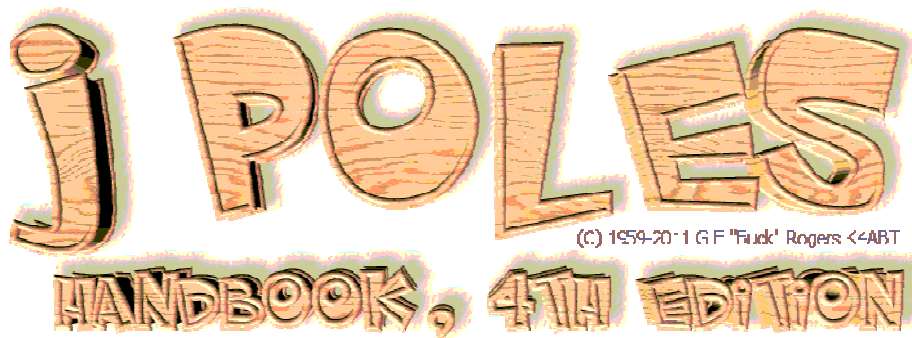
- 1. With a text editor open the "mmnlanguage.txt" file in the /MMANA_GAL/Language/ directory. This file contains a list of available languages. At the end of the file add your intended language file, you can use any name but the extension must be .mmn for example "belorusskij.mmn".
- 2. Open the file russian.mmn or english.mmn (or whichever of the other *.mmn language files you understand) and use the "save as" option to save it with the file name that you added to the "mmnlanguage.txt" file as in 1. The recommendation is to use Russian or English "mmn" files as these should be more up to date.
- 3. On line 1, change the existing Windows character set to the character set of your language.
- 4. Starting from line 7, you will see a list consisting of a single keyword plus a space, followed by a word/phrase. **DO NOT** amend the keyword as it is used internally by MMANA-GAL. Substitute the English or Russian word/phrase with the corresponding word/phrase in the language of your choice. This is a big file, save regularly!
- 5. Start MMANA-GAL and chose your language from the Toolbar menu **Service -> Language**. That's it; MMANA-GAL should be available in your language. If your language is not displayed in the Language option, check for errors in the "mmnlanguage.txt" file.

A similar procedure can also be performed if you find a typing error or an expression which looks not perfect for you. In this case simply amend the unsatisfactory expression in the .mmn file.

Take a note, you can only translate the MMANA-GAL language into the desired one if you run a respective language Windows system.

[▲ return to index](#)

ภาคผนวก ข
คู่มือการออกแบบและสร้างสายอากาศเจโพล



Serving HAM Radio since 1959, On the Web Since 1995
Order Toll Free Monday through Friday, 9 am to 5 pm, 1 800 726 2919 or 1 866 300 1969, All Times, Eastern

NO MINIMUM ORDERS, Same Day Shipping, except Sunday and Holidays BUXCOMM Corporation 115
LUENBURG DRIVE EVINGTON, VIRGINIA 24550
BUXCOMM Tech Support is by expert ARO's, Technicians and Engineers. *Tech Support; Email: support@buxcomm.com

A touch of Class, The Windom and the J-POLE

By Glynn E. "Buck" Rogers Sr (68 years as K4ABT)

The J-POLE has been around since the early days of HAM Radio, and is a direct descendant of the "Windom" Like the Windom or ZEPP, the J-POLE is a spin-off, or a modified WINDOM for VHF and UHF. One of the first articles I wrote about the J-Pole was in HRC magazine in 1958. Since 1958, I've written several j-pole articles in other HAM Radio publications.

Here, my references are to the early, 1923 (version) Windom (Article by Loren G. Windom September 1929, QST magazine). If you look at the feed of the early Windom that was fed with a single wire, you may soon see the similarity between the Windom, ZEPP, and the J-Pole.

Look close at the configuration of the Jpole and the Windom, and you will understand why in many of my articles in CQ Magazine and other publications, that I often refer to the Jpole as a Windom, with the short section folded back on itself to form the parasitic element. It is for this reason that I feel these are two of the best antennas ever designed. Having said this, you will also note that the Windom (and the Jpole) are powerful antennas that provide outstanding performance on all bands *above* the band for which they are cut or designed for.

The reason these two antennas perform so well (as Multi-Band antennas; Windom for HF & lo VHF, Jpole VHF & UHF), is because they operate at harmonics of the fundamental or lowest frequency for which they are cut/designed. To add additional feeders (ladder-line), other than 50 ohm coax or UNUNS is a waste of RF energy. Only 50 ohm coaxial cable and a BALUN at the feed-point is all that is necessary. Anything more, adds losses into the equation that cannot be overcome after-the-fact.

Remember the axiom:

"When you have reached perfection, anything more becomes a point of diminishing returns." Enough said!

Trust me on the above paragraph, as I have experimented with every Windom and Jpole concept or design that can be imagined. Having built and sold thousands of these two antennas, I've found that *It's difficult to improve on perfection.*

For now, let's look at some of the features of our J-Pole, whether for; 140-150 mHz, or 430-450 mHz

- the J-Pole is easy to erect
- the J-Pole needs no radials
- the J-Pole has low angle radiation
- the J-POLE has greater bandwidth.
- the J-Pole has greater immunity to terrestrial noise
- the J-Pole is great for local nets or distant repeaters
- the J-Pole has more gain than most Ground Planes
- the J-Pole is more durable than most Ground Planes
- the J-Pole meets most "stealth" antenna restriction agreements
- the J-Pole has less static-charge noise, and static-charge build-up.

In the mid-fifties, and early sixties, ridged copper was difficult to find, and even if we were fortunate enough to locate ridged copper, the cost was prohibitive. Most of our VHF (don't even think about UHF) operating was AM (for the late model HAM, "Amplitude Modulation"), and on two meters, operating was centered around 144 MHz. We either opt'd for a bamboo spreader cubical quad, or folded "zepp," as we called it in those days (now-a-days, called a "J-Pole.")

Another variation to this antenna construction was to use electrical thin-wall conduit or "EMT." EMT actually means "electrical metallic thin-wall" but somehow early acronyms had a way of getting turned around, or inverted, ... or perverted.. hi.

Using metal EMT instead of copper, we learned to use the brazing rods and torch to fabricate our "folded (zepp) Jay."

In any case, we were able to make the J-Pole happen. For VHF, the *J-Pole* became the antenna of choice, just as the *Windom* took its place as the antenna of choice for the lower (HF) bands. As a matter of interest, look close at both the J-pole and the Windom, and you might find a close resemblance and maybe even some relationships in the off-center method used to feed each of them.

I've heard of J-poles stacked, collinearized, and some with weird fitted, 1955 Ford fender-skirts. Depending on who's telling the story, they might have more gain than a yagi on a helicopter at 1200 feet, or they won't reach a hand-held across the backyard. I try to make it a personal point to stay out of these CB University fences. You can put a "mini-skirt" on it, you can even place a "tutu" on the J-Pole, but the truth is, it remains a Jpole.

As a personal observation throughout my 64 years as a HAM; **Mistakes, Experience, and Knowledge** has given this ole HAM the **Wisdom** *to know the difference*. **Don't try to build a Windom for two meters, and for heavens sake, DO NOT attempt building a J-Pole for seventy-five (75) meters.** As they say, "do the math;" Just the long, vertical section of a 75 meter J-pole would near 200 feet.

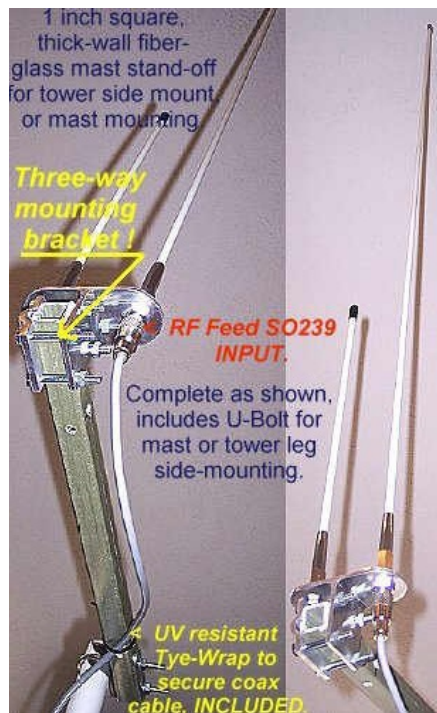
TO THE POINT OF OUR SUBJECT:

I've had many requests for a ready-made J-pole design that will enable the Amateur Radio user to print the image from a web page and go directly to the construction table and build a J-Pole antenna for their HAM Radio station.

On this page you will find many illustrations I've drawn to help you understand the manner in which a J Pole is built.

Fabrication can sometimes be a problem for the apartment dweller, or the HAM with limited facilities for this kind of project.

[For these reasons, you may wish to purchase the "direct fed Jpole" ready to install. We offer this BUXCOMM J POL in two versions;](#)



A VARIATION ON A THEME:

Let's look first at [FIGURE 1a](#). This is the overview and profile of the J-Pole we will be working with. There are two different bands we will be building the J-Pole antennas for. NO, we will not build a two band antenna on one mast. I've been there, done that.. and it is an exercise in futility.

For openers, I would like to show you that all J-poles are not created equal. By that statement; I mean, we will modify our construction techniques a bit and apply a variation to the theme. Notice in the exploded view at [FIGURE 1b](#), I've deviated from the usual RF feed technique that we normally use to attach our coaxial cable to the J-pole.

Where we usually attach the shield and center conductor to the tuning stub and the driven element with aero-seal (hose) clamps, here we've made a slight change in the design by exchanging the elbow for a tee. Below the short (1/4 wave tuning stub) section, we (carefully) soldered an SO-239 (Chassis-mount) coax (female) connector.

But notice that we must first attach a piece of **number 12 or 14** insulated, copper wire to the SO-239. The length of this wire depends on the spacing between the stub and ([Fig 1A "D"](#)) long section of our antenna.

If the antenna is for six meters, the wire length will need to be about, 10 to 12 inches long. If our antenna is for two meters, the wire length will be less than 8 inches overall.

I am careful when I (Benz-O-Matic torch) solder the SO-239 to the copper tee, since I don't want to heat the SO-239 to the point the solder on the wire melts and I have to begin the process again.

Shown below & above are our direct feed J-Poles.

For 2 meters (145.000 to 146.000 MHz) the EXACT dimensions are:

- A = 58 inches overall (Long, driven element).
- B = 19.5 Inches
- C = 2 Inches
- D = 1.8 Inches (space)

For 6 meters (50.500 to 51.500 MHz) the EXACT dimensions are:

- A = 166-3/4 inches overall (long, driven element).
- B = 58-3/4 inches (short, tuning stub).
- C = 5.5 Inches
- D = 5 inches

USE BUX "VBALUN" with J-Poles 1 kw VHF & UHF
BALUN, BUX VBALUN

> CLICK HERE for on-line CATALOG

Hi-Q, toroid design, wound with teflon covered, silver wire.
For VHF beams, J-Pole matching applications, and construction.



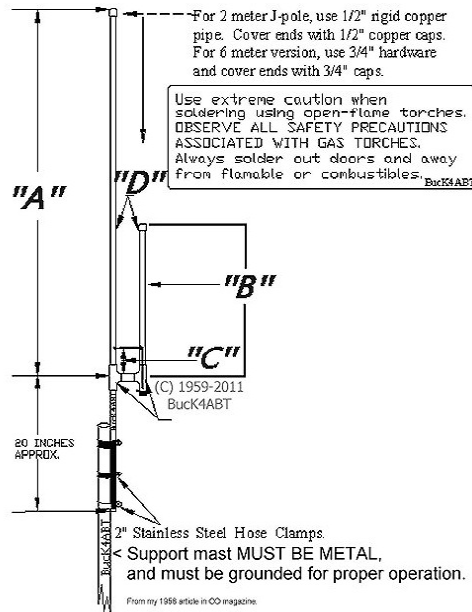
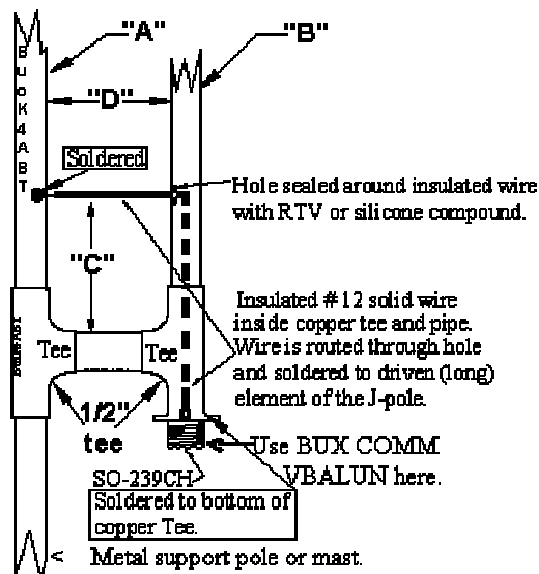


FIGURE 1a



Exploded view of the RF feedpoint method. (C) 1959-2011 G E "Buck" Rogers K4ABT

Figure 1b

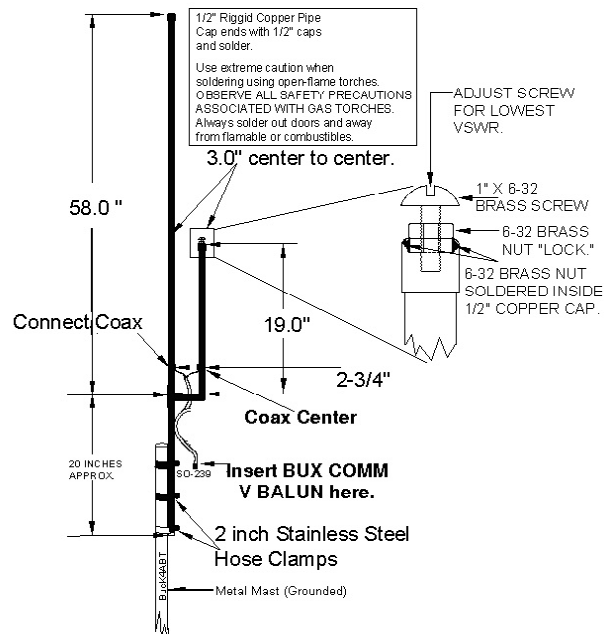
NOTE: Coax center conductor attaches to the "Long section" feed point.
Shield attaches to the short section feed point.

USE BUX "VBALUN" with J-Poles 1 kw VHF Balun, BUX VBALUN

> CLICK HERE for on-line CATALOG

**Hi-Q, toroid design, wound with teflon covered, silver wire.
For VHF beams and J-Pole matching applications, and construction.**

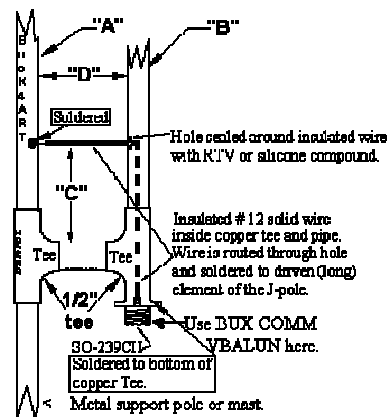
A n a d j u s t a b l e V S W R , 2 m e t e r J - P o l e



Two Meter J-POLE WITH VSWR ADJUSTMENT.

(C) 1959-2011 G E "Buck" Rogers K4ABT

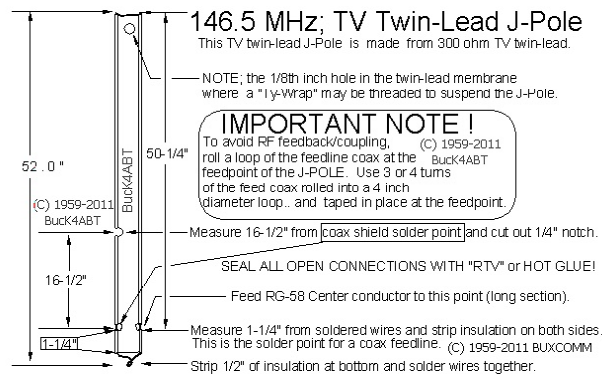
BUX VBALUN should be installed at the antenna feed point, or where the coax or feed-line attaches to the J-Pole antenna. BUX BALUNS are used to connect balanced antennas to unbalanced transmission lines, such as coax cable. Their primary purpose is to prevent antenna (RF) currents from flowing down the outside of the cable (VSWR). Another function of the BUX BALUN41 is to match the impedance of an unbalanced coax to the antenna feed point. BUX LISO BALUNS may also be used as "line isolators" anywhere along the cable to prevent the destructive influence of induced RF currents (VSWR). BUX 1:1 BALUNS are current BALUNS. They consist of several large, number 73, ferrite cores.



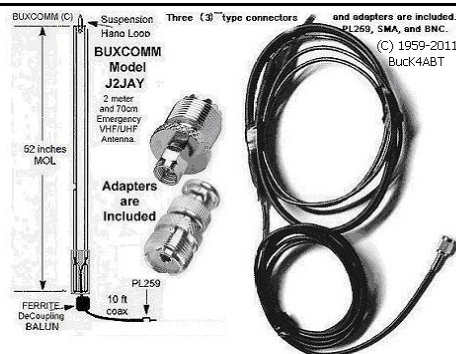
Exploded view of the RF feedpoint method. (C) 1959-2011 GE "Buck" Rogers K4ABT

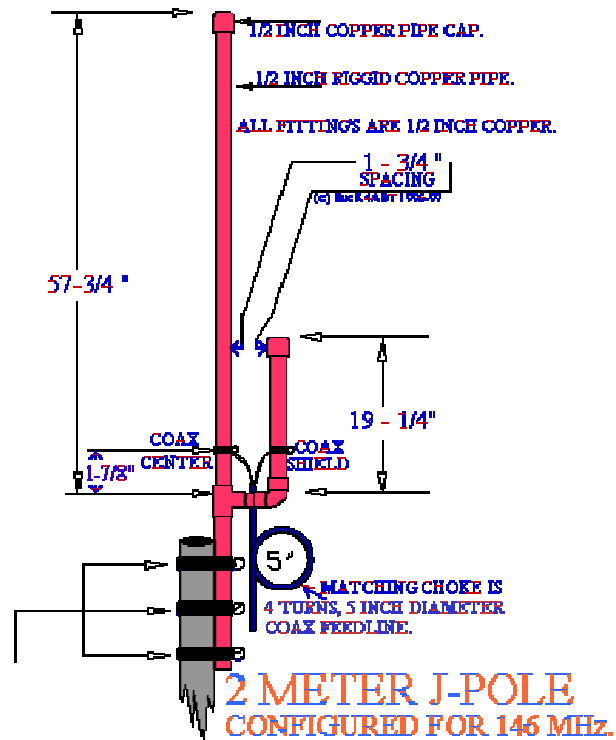
**CLOSE UP of the alternative coax feed method.
Use BUX VBALUN to couple coaxial cable to J-Pole.**

My Hardware J-Poles from 1959 & BUXCOMM J2JAY (1995)

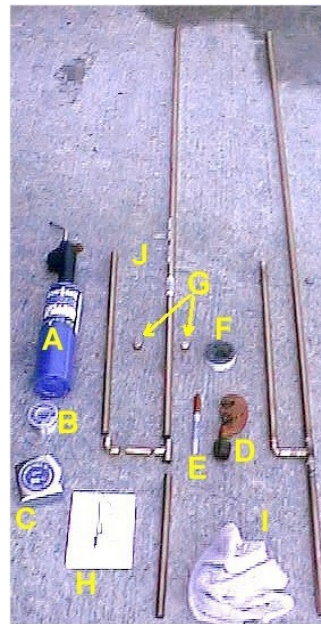


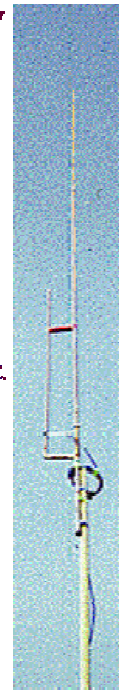
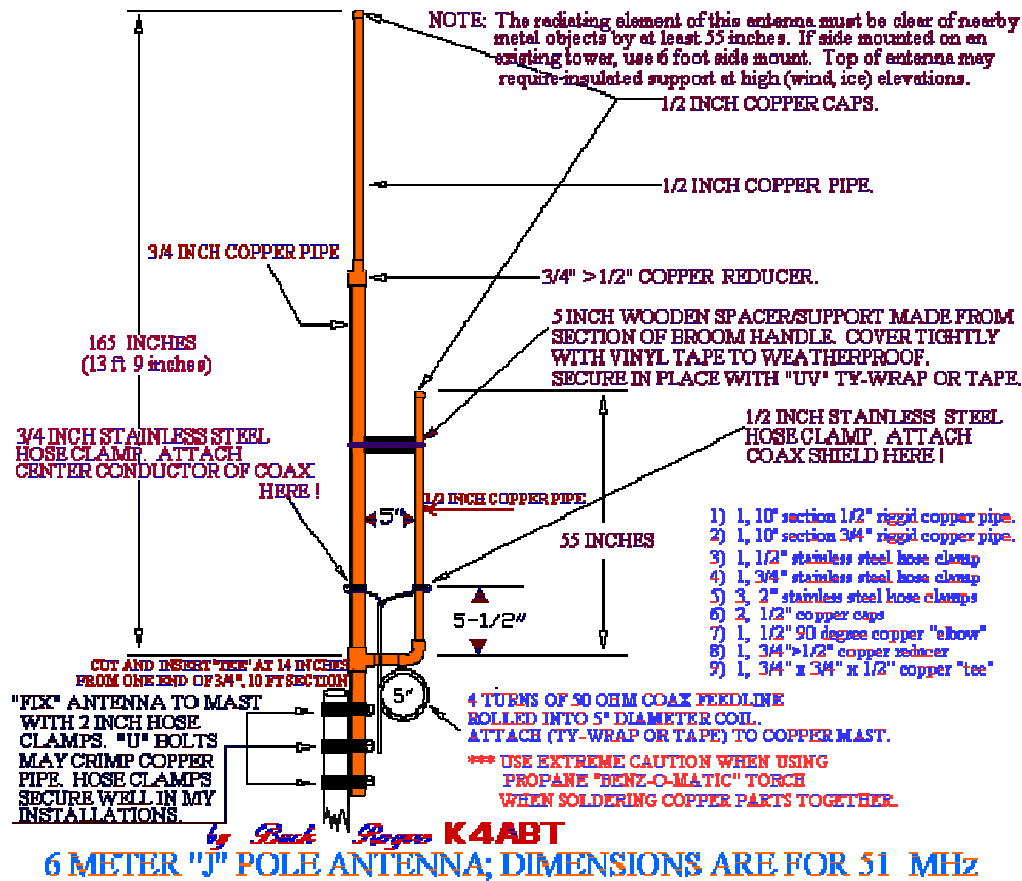
In the early days of packetRadio, we used this Jpole as an Indoor antenna to hit the local Packet Nodes (PacketRepeater). Unbelievable performance when suspended vertically near a window or off the patio. Gain is 3.7 dbi MOL.





A=Benz-O-Matic propane torch; B=Lead-Free solder; C=Tape measure; D=Tubing cutter; E=Sharpie marking pen; F=Solder Paste; G=1/2 inch copper caps; H=Hardcopy of the above drawing; I=Wet Towel; J=PreCut, ready to assemble parts of the 2 meter J-Pole.

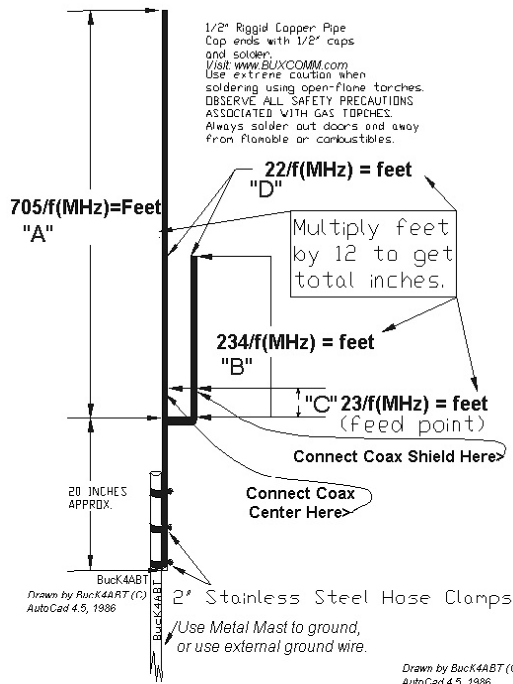




BUXCOMM J Pole Calculation by BucK4ABT (C) 1992


Center conductor to "Long Element" and Shield to "Short Element."

One is for 144 to 148 mHz (model JPOL2) and the other is for 430-450 mHz (model JPOL4).
Both models are shown in the following illustration:



<p>BUX COMM Direct Feed J-POLES</p> <p>For 144-148 mHz Order JPOL2</p> <p>For 430-450 mHz Order JPOL4</p> <p>Heavy Duty 5/16" fiber glass polished rod withstands harse weather conditions. More Gain than ground planes. Elements don't corrode or oxidize.</p> <p>Tower leg or mast. Approximately TEN inches</p> <p>Can be side mounted on tower leg or on 1-1/4" metal or PVC SKED 40 mast. NO radials needed.</p> <p>SQUARE 1"x1"x1/8" FiberGlass Right Tube U-BOLT fits up to 1-1/2 inch OD mast</p> <p>15-1/2"</p> <p>144-148 mHz JPOL2</p> <p>430-450 mHz JPOL4</p> <ul style="list-style-type: none"> * Very Light Weight * EZ to install * No Radials to increase weight or windload * Makes a great indoor or attic "stealth" antenna. * Easy to mount on apartment guard-rail. * Operate JPOL Mobile * Ideal on VHF-UHF Field-Day <p>57.7"</p> <p>Center to Center</p> <p>19.4"</p> <p>Copper Braid, or 302/304 SS RF INPUT</p>	<p><u>2 meter version: 144 to 150 mHz</u> (model JPOL2) <u>> CLICK HERE for on-line CATALOG</u></p> <p><u>70cm version: 430-450 mHz</u> (model JPOL4) <u>> CLICK HERE for on-line CATALOG</u></p>
---	---

The object is to eliminate the need to go through all the calculations on another page of this website.

<p>Great for wireless, radio, satellite and HAM antennas</p> <p>Hand Moldable Plastic</p> <p>COAX-SEAL®</p> <p>Seals Connectors from Moisture and Corrosion</p> <p>Effective Moisture-Proofing</p> <ul style="list-style-type: none"> • Provides years of protection • Hand moldable - stays flexible at extreme temperatures • Forms easily to odd shaped connectors • Non-conductive • Non-contaminating  <p>Fast easy seal for wireless, radio and satellite antennas</p>	<p>For all type of outdoor antenna connections, BALUNS, Coax connectors, coax bulkhead entry panels and more. Use Coax-Seal® to protect any outdoor connection or connector. Coax-Seal is made of a non-conductive, non-contaminating waterproof material that remains flexible at any temperature from -30° to 180°F. Coax connectors that are not waterproof or have exposed solder joints can weaken from oxidation ! Coax-Seal is superior to electrical tape or vinyl sealants for moisture protection. Each box of Coax-Seal contains (60 inches x 1/2 inch) five feet and will protect ten (10) connectors.</p>	<p>CAT#, CS104, For all type of outdoor antenna connections, BALUNS, Coax connectors, coax bulkhead entry panels and more.</p>
---	--	--

Serving HAM Radio since 1959, On the Web Since 1992

Order Toll Free Monday through Friday, 9 am to 5 pm, 1 800 726 2919 or 1 866 300 1969, Saturday 9 AM to 2 PM Eastern Time

NO MINIMUM ORDERS. Same Day Shipping, except Sunday and Holidays.

BUXCOMM Corporation 115 LUENBURG DRIVE EVINGTON, VIRGINIA 24550

BUXCOMM Tech Support is by expert Technicians and Engineers. *Tech Support; Email; support@buxcomm.com

Web Page Design and HTML By

G. E. 'Buck' Rogers Sr K4ABT d/b/a BUX CommCosm ® & © and is a trademark of: G.E. "Buck" Rogers Sr., Communications Consultants

All text and graphics on these pages are ©®™ of G. E. Rogers Sr and BUX COMM Corp 1958 - 2011

ประวัติคณะผู้วิจัย

1. หัวหน้าโครงการวิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายชูชาติ พุตระกูล

ตำแหน่ง วิศวกร ระดับ 6

หน่วยงาน สำนักงานคนบดี (งานเทคโนโลยีสารสนเทศ) คณะวิศวกรรมศาสตร์

โทรศัพท์ 08 9920 5916 โทรสาร 0 2739 2471

E-mail kpuchuch@kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ
วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	สจล.
อส.บ.	เทคโนโลยีโทรคมนาคม	สจล.

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

1. เครื่องเพิ่มออกซิเจนควบคุมการทำงานแบบไร้สายแบบประหยัดพลังงาน

2. ผู้ร่วมวิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายสุรพล บุญจันทร์

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

โทรศัพท์ 08 1630 2454 โทรสาร 0 2326 4554

E-mail kbsurapo@kmitl.ac.th, surapol@telecom.kmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ
วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	สจล.
อส.บ.	เทคโนโลยีโทรคมนาคม	สจล.

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

1. เครื่องเพิ่มออกซิเจนควบคุมการทำงานแบบไร้สายแบบประหยัดพลังงาน

3. ผู้ร่วมวิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง

ตำแหน่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

โทรศัพท์ 0 2737 3000 ext. 3349 โทรสาร 0 2326 4554

E-mail kbpisit@kmitl.ac.th, pisit@telecom.lmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ
วศ.ด.	วิศวกรรมไฟฟ้า	Mie University
วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า โทรคมนาคม	สจล.

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

1. Proposal of Improved PTS method for OFDM Signal in the Multi-path Fading Channel

4. ผู้ร่วมวิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายณรงค์ศักดิ์ มโนสิทธิชัย

ตำแหน่ง วิศวกร

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

โทรศัพท์ 08 3138 0728 โทรสาร 0 2326 4554

E-mail kbpisit@kmitl.ac.th, pisit@telecom.lmitl.ac.th

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ
วศ.ม.	วิศวกรรมสารสนเทศ	สจล.
วศ.บ.	วิศวกรรมสารสนเทศ	สจล.

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

1. Performance Analysis of Ultra Wideband Impulse Radio Propagation Channel with Laptop Computer in an Indoor Environment for Personal Area Network