



โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแนวลำดับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล



- | | | |
|--------------------------------|--------------|----------|
| 1. นางสาวรัตติเนตร อินทนิล | รหัสประจำตัว | B4808589 |
| 2. นางสาวสร้อยญา บริบูรณ์เนื้อ | รหัสประจำตัว | B4811046 |

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชา 427499 โครงการงานศึกษาวិชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ประจำภาคการศึกษาที่ 3 ปีการศึกษา 2552

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

หลักสูตรปรับปรุงพ.ศ. 2545

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงการ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแกลวลำดับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล
ผู้ดำเนินงาน 1. นางสาวรัตติเนตร อินทนิล รหัสประจำตัว B4808589
2. นางสาวสรัญญา บริบูรณ์เนื้อ รหัสประจำตัว B4811046
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ กระจงนอก
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม
ภาคการศึกษาที่ 3/2552

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ออกแบบจัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยสอนในเรื่องแกลวลำดับเฟสเบื้องต้น (PHASED ARRAY) ของสายอากาศ ไดโพล โดยจะพิจารณาแกลวลำดับเฟสแบบต่างๆ ได้แก่ แกลวลำดับเฟสแบบเชิงเส้น (Linear Array) และแกลวลำดับเฟสแบบระนาบ (Planer Array) เป็นต้น ในส่วนของ การออกแบบจะใช้โปรแกรม Matlab Gui ในการคำนวณและแสดงผลของสายอากาศไดโพล จึงทำให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกในการเรียนรู้การจัดแกลวลำดับในสายอากาศ ไดโพล และทราบลักษณะลำคลื่นที่เกิดขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการนี้จะมีอาจสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ถ้าหากมิได้รับความกรุณาจาก อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ กระจงนอก ผู้ที่ให้แนวคิดแรกเริ่มของการ ออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนปฏิบัติการ ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องของแนวคิด การ ติดตามเอาใจใส่ และชี้แนะข้อบกพร่องที่ข้าพเจ้าได้มองข้ามไปในบางส่วน นอกจากนี้ยังต้องขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

คณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมทุกท่าน ที่ได้สั่งสอนให้ความรู้ เลขานุการประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องของงาน เอกสาร

พีศรัณย์ คัมภีร์ภัทร ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องของการเขียนและแก้ไขโปรแกรม คอมพิวเตอร์ช่วยสอนปฏิบัติการให้ถูกต้องสมบูรณ์

พี่ๆ และเพื่อนๆ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องของการเขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนปฏิบัติการ

สุดท้ายนี้ คุณงานความดีที่เกิดจากโครงการฉบับนี้ ขอมอบแก่บิดามารดา ผู้ที่คอยห่วงใย ให้กำลังใจ ให้โอกาส และให้การสนับสนุนทางการศึกษามาโดยตลอด



นางสาวรัตติเนตร อินทนิล

นางสาวสร้อยญา บริบูรณ์เนื่อ

สารบัญ

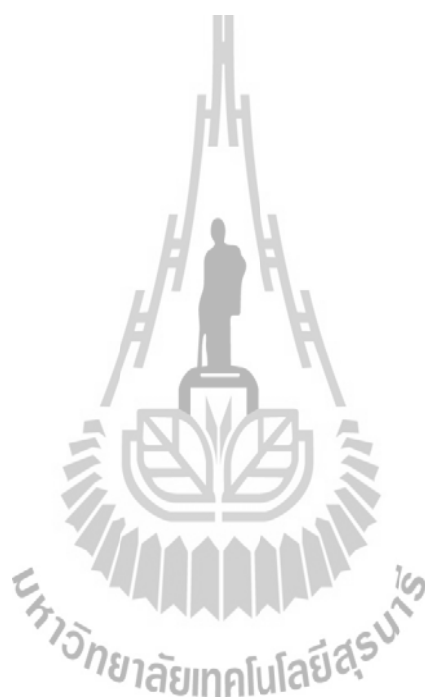
	หน้า
บทคัดย่อ ก	
กิตติกรรมประกาศ ข	
สารบัญ ก	
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการทำงาน	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 บทนำ	3
2.2 สายอากาศไดโพลครึ่งคลื่น	3
2.2.1 สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ	3
2.2.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน	4
2.2.3 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง	7
2.2.4 การโพลาไรซ์ของสายอากาศ	7
2.3 สายอากาศแฉวลำดับ	9
2.3.1 ตัวประกอบแฉวลำดับ	11
2.3.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน	11
2.3.3 แฉวลำดับแบบสองอิลิเมนต์	12
2.3.4 แฉวลำดับแบบเชิงเส้น N -อิลิเมนต์	18
ที่มีแอมพลิจูดและระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์สม่ำเสมอ	
2.3.5 แฉวลำดับด้านข้าง	23
2.3.6 แฉวลำดับเอนด์ไฟร์สามัญ	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.7 แกลลุ่มดับ(การกวาดเฟส)	30
2.4 แกลลุ่มดับแบบระนาบ	35
2.5 สรุป	42
บทที่ 3 การออกแบบและการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	43
แกลลุ่มดับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล	
3.1 บทนำ	43
3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประมวลผลและแสดงผล	43
3.2.1 กำหนดและออกแบบขั้นตอนของโปรแกรม	43
3.3 การออกแบบรูปแบบของโปรแกรม	45
3.4 อธิบายการทำงานของโปรแกรม	46
3.5 การทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	46
แกลลุ่มดับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล	
3.5.1 การเปิดใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	46
แกลลุ่มดับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล	
3.5.2 การทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	47
แกลลุ่มดับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล	
3.6 สรุป	50
บทที่ 4 สรุปและข้อเสนอแนะ	51
4.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน	51
แกลลุ่มดับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล	
4.2 ปัญหาที่พบในขั้นตอนการทำงาน	51
4.3 ผลที่ได้จากโครงการ	51
4.4 แนวทางการพัฒนาต่อ	51

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บรรณานุกรม	52
ภาคผนวก (ก)	54
โปรแกรมควบคุมการทำงาน	55
ประวัติผู้จัดทำ	71



สารบัญรูป

	หน้า
2.1 สายอากาศไดโพล	4
2.2 ระนาบสนามไฟฟ้า: E-plane (y-z) และระนาบสนามแม่เหล็ก: H-plane (x-y) ของสายอากาศไดโพล	5
2.3 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของไดโพลอุดมคติ	6
2.4 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ของไดโพลอุดมคติ	6
2.5 การแจกแจงของกระแสบนสายอากาศไดโพล $\lambda/2$	8
2.6 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของสายอากาศไดโพล $\lambda/2$ (เส้นทึบ)และไดโพลอุดมคติ (เส้นประ)	8
2.7 ลักษณะการโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล	9
2.8 รูปทรงเรขาคณิตของแฉวลำดับสองอีลิเมนต์ ที่ถูกวางอยู่บนแกน z	12
2.9 อีลิเมนต์ ตัวประกอบแฉวลำดับและแบบรูปสนามรวมของสายอากาศ แฉวลำดับของไดโพลจิวที่เหมือนกันสองอีลิเมนต์ซึ่งวางในแนวนอน และมีการป้อนเฟสเหมือนกัน	15
2.10 การคูณแบบรูปของอีลิเมนต์ ตัวประกอบแฉวลำดับและแบบรูปของ แฉวลำดับรวมของสายอากาศแฉวลำดับของไดโพลจิวที่เหมือนกัน สองอีลิเมนต์ซึ่งวางในแนวนอนและมีการป้อนเฟสต่างกัน $\beta = + \pi /2$	16
2.11 การคูณแบบรูปของอีลิเมนต์ ตัวประกอบแฉวลำดับ และแบบรูปของ แฉวลำดับรวมของสายอากาศแฉวลำดับของไดโพลจิวที่เหมือนกัน สองอีลิเมนต์ซึ่งวางในแนวนอนและมีการป้อนเฟสต่างกัน $\beta = - \pi /2$	17
2.12 รูปการหาสนามระยะไกลของแฉวลำดับที่มีอีลิเมนต์เป็นแบบไอโซทรอปิก จำนวน N อีลิเมนต์ที่วางอยู่บนแกน z	18
2.13 แบบรูปที่แสดงแอมพลิจูดของสนามสามมิติแบบแผ่ด้านข้างและ แบบแผ่ด้านข้าง/เอนด์ไฟร์	24

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
2.14 แบบรูปของตัวประกอบแถวลำดับด้านข้าง ($N=10, \beta = 0$) ซึ่งมีแอมพลิจูดสม่ำเสมอขนาด 10 อีลิเมนต์	25
2.15 แบบรูปสามมิติแสดงแอมพลิจูดของสนามของแถวลำดับเอ็นด์ไฟร์ ที่มีทิศพุ่งไปที่ $\theta = 0^\circ$ และ $\theta = 180^\circ$	27
2.16 แบบรูปของตัวประกอบแถวลำดับแบบเอ็นด์ไฟร์ ($N=10, \beta = +/-kd$) ขนาด 10 อีลิเมนต์ ซึ่งมีแอมพลิจูดสม่ำเสมอ	28
2.17 แบบรูปสามมิติของตัวประกอบแถวลำดับการกวาด ซึ่งมีแอมพลิจูดสม่ำเสมอ ($N = 10, \beta = -kd \cos \theta_0, \theta_0 = 60^\circ, d = \lambda/4$)	30
2.18 ความกว้างลำครึ่งกำลังของแถวลำดับเชิงเส้นสม่ำเสมอ ที่มีการแผ่คลื่นด้านข้างแบบเอ็นด์ไฟร์สามัญและแบบที่มีการกวาด	31
2.19 รูปร่างของแถวลำดับแบบเส้นตรงและแบบระนาบ	37
2.20 แบบรูปสามมิติของสายอากาศแถวลำดับระนาบที่มีอีลิเมนต์ เป็นไอโซทรอปิก วางห่างกันเท่ากับ $d_x = d_y = \lambda/4$ โดยเฟสและแอมพลิจูด ของกระแสที่ป้อนให้แต่ละอีลิเมนต์เหมือนกัน	38
2.21 แบบรูปสามมิติของสายอากาศแถวลำดับระนาบที่มีอีลิเมนต์ เป็นไอโซทรอปิกวางห่างกันเท่ากับ $d_x = d_y = \lambda/2$ โดยเฟสและแอมพลิจูด ของกระแสที่ป้อนให้แต่ละอีลิเมนต์เหมือนกัน	39
2.22 แบบรูปสองมิติของแถวลำดับเชิงระนาบของสายอากาศไอโซทรอปิก ($N=M=5, d_x=d_y = \lambda/2, \phi = 90^\circ$ หรือ 0°) ซึ่งมีเฟสและแอมพลิจูดสม่ำเสมอ	40
2.23 แบบรูปสองมิติของแถวลำดับเชิงระนาบของสายอากาศไอโซทรอปิก ($N=M=5, d_x=d_y = \lambda/2, \phi = 90^\circ$ หรือ $0^\circ, \theta_0 = 30^\circ, \phi_0 = 45^\circ$) ซึ่งมีเฟสและแอมพลิจูดสม่ำเสมอ	41

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
3.1 ภาพโครงสร้างโดยรวมของโปรแกรม	43
3.2 ภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	44
3.3 ภาพแสดงรูปแบบของโปรแกรม	45
3.4 แสดงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแถวลำดับเฟสเบื้องต้น ของสายอากาศบนหน้าต่างโปรแกรม Matlab Gui	46
3.5 ผลการทดสอบแบบ Linear Array โดยใช้ค่า Frequency 300MHz , N=2 , Beta 0°,d= $\lambda/4$	47
3.6 ผลการทดสอบแบบ Linear Array โดยใช้ค่า Frequency 300MHz , N=2 , Beta 90°,d= $\lambda/4$	48
3.7 ผลการทดสอบแบบ Linear Array โดยใช้ค่า Frequency 300MHz , N=10 , Beta -90°,d= $\lambda/4$	48
3.8 ผลการทดสอบแบบ Planar Array โดยใช้ค่า Frequency 300MHz , Element X 5 , Element Y 5 , Phi Zero 0° , Theta Zero 0° , Phi 90°, $d_x=d_y = \lambda /2$	49
3.9 ผลการทดสอบแบบ Planar Array โดยใช้ค่า Frequency 300MHz , Element X 5 ,Element Y 5 , Phi Zero 45° , Theta Zero 30° , Phi 90°, $d_x=d_y = \lambda /2$	49
3.10 ผลการทดสอบแบบ Planar Array โดยใช้ค่า Frequency 300MHz , Element X 2 ,Element Y 10, Phi Zero -30°,Theta Zero -60°,Phi -45°, $d_x=d_y = \lambda /2$	50

สารบัญตาราง

	หน้า
2.1 สรุปสมการสำหรับหาค่าของสนามที่มุมต่างๆ ของแฉวลำดับด้านข้าง	26
2.2 สรุปสมการสำหรับหาค่าความกว้างลำของสนามของแฉวลำดับด้านข้าง	26
2.3 สรุปสมการสำหรับหาค่าของสนามที่มุมต่างๆ ของแฉวลำดับเอ็นดีไฟร์	29
2.4 สรุปสมการสำหรับหาค่าความกว้างลำของสนามของแฉวลำดับเอ็นดีไฟร์	29
2.5 สรุปสมการสำหรับหาค่าของสนามที่มุมต่างๆ ของแฉวลำดับ เอ็นดีไฟร์ของเฮนเซน-วูดยาร์ด	34
2.6 สรุปสมการสำหรับหาค่าความกว้างลำของสนามของแฉวลำดับ เอ็นดีไฟร์ ของเฮนเซน-วูดยาร์ด	34
3.1 แสดงการกำหนดคุณสมบัติให้กับตัวควบคุมต่างๆของโปรแกรม	45



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

เนื่องจากในปัจจุบันการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญ ทั้งทางด้านการเรียน และการสอนมากขึ้นกว่าในสมัยก่อน ดังนั้น โครงการงานนี้จึงได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับช่วยสอนในเรื่องแถวลำดับเฟสเบื้องต้น (PHASED ARRAY) แบบต่างๆของสายอากาศไดโพล ได้แก่ แถวลำดับเฟสแบบเชิงเส้น (Linear Array) และแถวลำดับเฟสแบบระนาบ (Planer Array) เป็นต้น เพื่อช่วยในการเรียนรู้และการช่วยสอนของอาจารย์ในห้องเรียน โดยโครงการนี้จะใช้โปรแกรม Matlab Gui ในการพัฒนาโปรแกรม

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ทำการแสดงผลแถวลำดับเฟสเบื้องต้น (PHASED ARRAY) แบบต่างๆของสายอากาศไดโพล
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาโปรแกรมแสดงผลด้วยโปรแกรม Matlab Gui
- 1.2.3 เพื่อพัฒนาโปรแกรม Matlab Gui ในการสังเคราะห์สายอากาศไดโพล

1.3 ขอบเขตของการทำงาน

- 1.3.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับแถวลำดับเฟสเบื้องต้น (PHASED ARRAY) แบบต่างๆของสายอากาศไดโพล
- 1.3.2 ศึกษาการเขียนโปรแกรม Matlab Gui
- 1.3.3 เขียนโปรแกรมแสดงแถวลำดับเฟสเบื้องต้น (PHASED ARRAY) แบบต่างๆของสายอากาศไดโพล
- 1.3.4 เขียนโปรแกรมการสังเคราะห์สายอากาศไดโพล

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับแถวลำดับเฟสเบื้องต้น (PHASED ARRAY) แบบต่างๆของสายอากาศไดโพล
- 1.4.2 ศึกษาการเขียนโปรแกรม Matlab Gui
- 1.4.3 เขียนโปรแกรมแสดงแถวลำดับเฟสเบื้องต้น (PHASED ARRAY) แบบต่างๆของสายอากาศไดโพล
- 1.4.4 เขียนโปรแกรมการสังเคราะห์สายอากาศไดโพล
- 1.4.5 ทดสอบและแก้ไขการทำงานของโปรแกรมที่ได้พัฒนา
- 1.4.6 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- 1.4.7 เขียนรายงานและนำเสนอโครงการ สรุปผลการทดลองและประเมินผลและจัดทำรูปเล่มรายงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแถวลำดับเฟสเบื้องต้น (PHASED ARRAY) แบบต่างๆของสายอากาศไดโพล
- 1.5.2 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.5.3 สามารถค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมนอกเหนือจากในหลักสูตรที่เรียนได้
- 1.5.4 สามารถพัฒนาทักษะการใช้โปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการให้มีความชำนาญเพิ่มมากขึ้น
- 1.5.5 ได้บรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ทั้งหมด

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีวิศวกรรมสายอากาศพื้นฐาน และการจัดแถวลำดับของสายอากาศ โดยสายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการแผ่กระจายกำลังงานและรับคลื่นวิทยุ โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวส่งผ่านระหว่างท่อนำคลื่นหรือสายส่งกับอากาศอิสระ (Free Space) โดยทั่วไปสายอากาศต้นหนึ่งๆ สามารถใช้ในการส่งหรือรับสัญญาณได้เหมือนกัน แต่สิ่งที่สำคัญมากสำหรับการใช้งานทั้งสองกรณีนั้นก็คือ ทิศทางและการวางตัวของสายอากาศทั้งสองในขณะที่ทำการรับส่งสัญญาณนั้นระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้ในทิศทางที่ถูกต้องจะมีมากกว่าในทิศทางอื่นๆ หากใช้เป็นสายอากาศส่งก็จะมีกำลังงานที่แผ่กระจายออกไปในทิศทางดังกล่าวสูงกว่าทิศทางอื่นๆ ด้วยเช่นกัน นั่นแสดงว่าทิศทางที่แผ่กระจายคลื่นได้สูงสุดของสายอากาศส่งจะมีทิศทางเดียวกันกับทิศทางของสายอากาศรับที่รับคลื่นได้สูงสุด

ในกรณีที่เป็นแหล่งจ่ายแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Source) จะเป็นสายอากาศสมมุติที่ไม่มีทิศทาง โดยจะมีความแรงในการแผ่กระจายกำลังงานเท่ากันทุกทิศทาง สายอากาศแบบไอโซทรอปิก จะไม่มีอยู่จริงในทางปฏิบัติ แต่มีไว้ใช้สำหรับเป็นสายอากาศอ้างอิงเมื่อมีการกล่าวถึงสายอากาศชนิดอื่นๆ ที่มีทิศทาง (Directional Antenna)

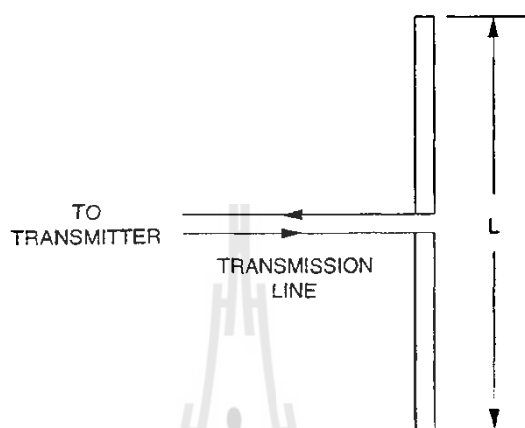
2.2 สายอากาศไดโพลครึ่งคลื่น

2.2.1 สายอากาศไดโพลและไดโพลอุดมคติ

สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna) เป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด มีส่วนประกอบเป็นเส้นลวดสองเส้นที่มีความยาว L วางเป็นแนวเส้นตรงดังรูปที่ 2.1 โดยจุดกึ่งกลางของตัวไดโพลจะถูกต่อเข้ากับเครื่องส่งโดยใช้สายส่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ เครื่องส่งจะจ่ายสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับไปยังสายอากาศ กระแสของสัญญาณนี้จะไหลไปยังขั้วหนึ่งของไดโพล และไหลกลับมายังอีกขั้วหนึ่งของไดโพลดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของกระแสที่ส่งไปยังขั้วแรกของไดโพล

การแจกแจงของกระแส (Current Distribution) จะแสดงให้เห็นขนาด (Magnitude) ของสัญญาณกระแสสลับที่เกิดขึ้นตลอดความยาวของสายอากาศไดโพลซึ่งมีค่าไม่เท่ากัน โดยที่ปลาย

ทั้งสองจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่จุดกึ่งกลางหรือที่จุดอื่นๆ บนตัวไดโพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวของไดโพลและความถี่ของสัญญาณที่มาจากเครื่องส่ง



รูปที่ 2.1 สายอากาศไดโพล

ไดโพลอุดมคติ (Ideal Dipole) เป็นสายอากาศสมมติซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาสายอากาศชนิดอื่นๆ สามารถพิจารณาให้เป็นส่วนประกอบเล็กๆของความยาวไดโพล (Infinitesimal Dipole) ที่มีการแจกแจงรูปของกระแสที่เท่ากันตลอดความยาวคุณลักษณะทางทฤษฎีของไดโพลอุดมคติจะประมาณให้มีค่าทางไฟฟ้าเท่ากับสายอากาศไดโพลที่มีขนาดเล็กๆ

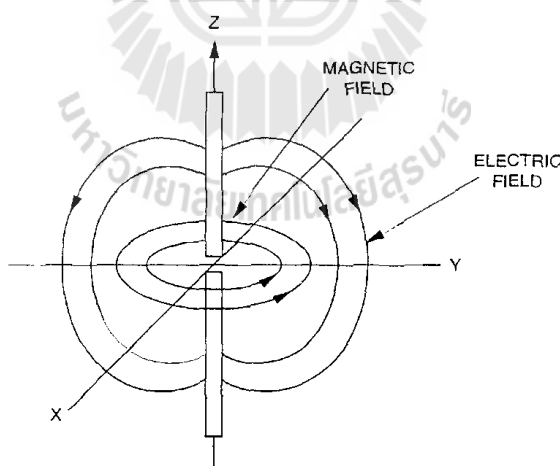
2.2.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Radiation Pattern)

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานคือ การแสดงรูปแบบของกำลังงานที่แผ่กระจายออกจากตัวสายอากาศเป็นรูปภาพ 3 มิติ ที่วัดได้ในบริเวณสนามระยะไกล คุณสมบัติการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศเป็นฟังก์ชันของพิกัดเชิงตำแหน่ง (Space Coordinates) บริเวณของสนามระยะไกลคือ บริเวณที่ไกลเพียงพอสำหรับการวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน ซึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับระยะทางที่อยู่ห่างจากสายอากาศ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศใดๆ สามารถที่จะทราบได้ด้วยกรวัดทดลองและถ้าเราทราบลักษณะการแจกแจงรูปของกระแสบนตัวสายอากาศ ก็จะสามารถคำนวณหาจากการคำนวณได้เช่นเดียวกัน

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจะเป็นตัวแสดงถึงการกระจายพลังงานออกไปตามฟังก์ชันของทิศทางของสัญญาณที่ส่งออกไปจากสายอากาศ ซึ่งแสดงถึงระดับสัมพัทธ์ของกำลังงานที่ส่งออกไปซึ่งเป็นฟังก์ชันของทิศทาง ถึงแม้ว่าเราจะใช้คำว่า “การแผ่กระจายกำลังงาน” กับแบบรูปที่ใช้กับสายอากาศส่ง แต่ความจริงจะเป็นแบบรูปอันเดียวกันกับแบบรูป “การรับคลื่น” ในกรณีที่เป็นสายอากาศรับด้วย ตามทฤษฎีภาวะย้อนกลับ (Reciprocity Theorem)

ถึงแม้ว่าแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่สมบูรณ์จะเป็นฟังก์ชันแบบ 3 มิติ แต่ทั่วไปจะใช้งานกันเพียง 2 มิติ ก็เพียงพอที่จะบอกคุณลักษณะของสายอากาศที่มีทิศทางได้ การวัดในแต่ละมิติจะวัดในแต่ละระนาบที่ตั้งฉากกัน คือระนาบที่ขนานกับสนามไฟฟ้าและระนาบที่ขนานกับสนามแม่เหล็ก โดยเรียกว่า E-plane และ H-plane ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

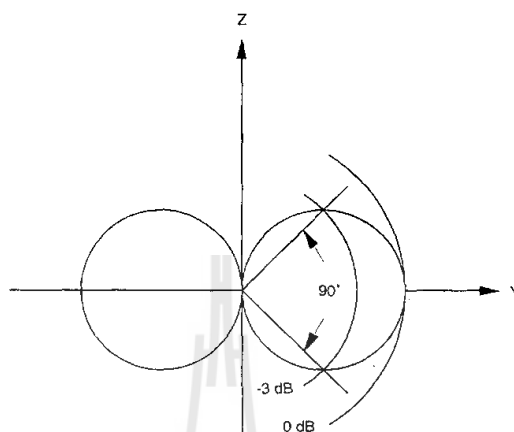
แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบหนึ่งๆ สามารถวัดได้โดยการหมุนสายอากาศในระนาบนั้นๆ ขณะที่ระดับของกำลังงานที่รับได้จะเป็นฟังก์ชันของการหมุนของสายอากาศ เพื่อให้ได้แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่ถูกต้องควรจะต้องจัดสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบสายอากาศที่จะทำการวัดให้ปราศจากวัตถุใดๆ ที่อาจจะทำให้เกิดการสะท้อนสัญญาณและส่งกลับไปยังสายอากาศที่ทำการวัดอยู่



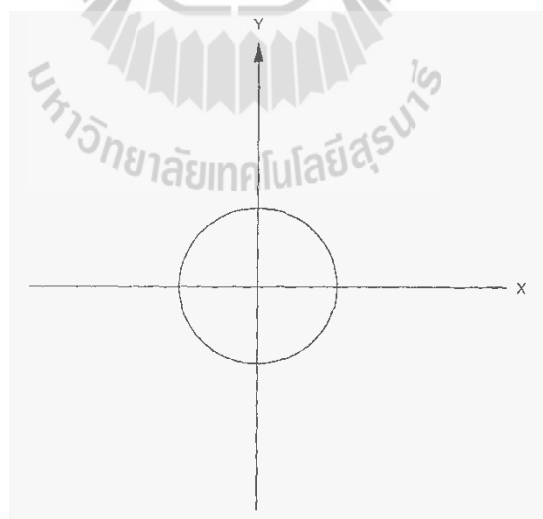
รูปที่ 2.2 ระนาบสนามไฟฟ้า: E-plane (y-z) และระนาบสนามแม่เหล็ก: H-plane (x-y) ของสายอากาศไดโพล

รูปที่ 2.3 ได้แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของไดโพลอุดมคติ แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานนี้แสดงให้เห็นว่าไดโพลอุดมคตินั้นมีทิศทางด้วย

เพราะว่าการแผ่กระจายกำลังงานจะมีความแรงของสัญญาณสูงในบางทิศทางเมื่อเทียบกับทิศทางอื่น ๆ ส่วนแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบแม่เหล็ก (H-plane) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ซึ่งในแบบรูปนี้การแผ่กระจายกำลังงานจะเท่ากันทุกทิศทาง



รูปที่ 2.3 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของไดโพลอุดมคติ



รูปที่ 2.4 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) ของไดโพลอุดมคติ

2.2.3 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth: HPBW) ของสายอากาศ คือ การพิจารณามุมในลำคลื่นหลักโดยคิดที่กำลังงานลดลงครึ่งหนึ่ง (-3dB) ของกำลังงานที่แผ่ออกในทิศทางของกำลังงานสูงสุด

$$\text{HPBW} = \left| \theta_{\text{HPBW}_{\text{left}}} - \theta_{\text{HPBW}_{\text{right}}} \right| \quad (2.1)$$

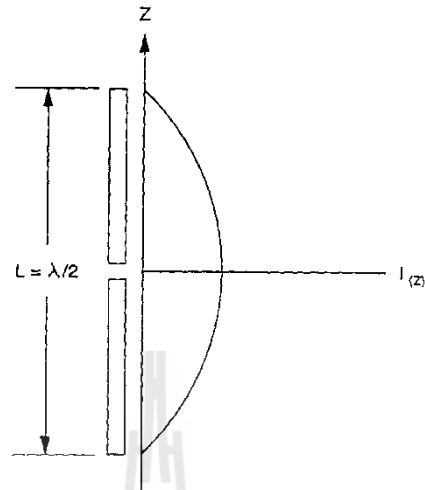
ค่า HPBW ของไดโพลอุดมคติในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) จะเท่ากับ 90 องศา ซึ่งดูได้จากรูปที่ 2.3

สำหรับสายอากาศไดโพลในทางปฏิบัติซึ่งใช้กันทั่วไป จะมีความยาว L เท่ากับ $\lambda/2$ และ $3\lambda/2$ ค่า λ เป็นค่าความยาวคลื่นของสัญญาณ การแ่งรูปของกระแสที่เกิดขึ้นบนไดโพล $\lambda/2$ จะมีรูปร่างของสัญญาณเป็นรูปไซน์ครึ่งคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยกระแสจะมีค่าสูงสุดที่จุดกึ่งกลางและมีค่าศูนย์ที่จุดปลายสุด

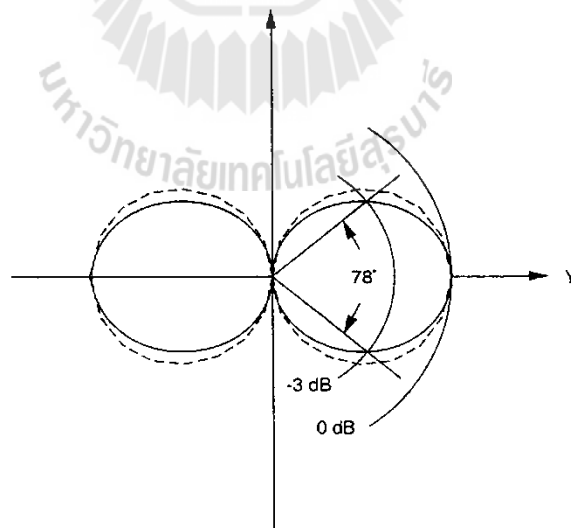
รูปที่ 2.6 ได้แสดงแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานทั้งจากสายอากาศไดโพลแบบ $\lambda/2$ ในระนาบสนามไฟฟ้า และในไดโพล อุดมคติ โดยสายอากาศไดโพล $\lambda/2$ มี HPBW 78 องศาในระนาบสนามไฟฟ้า และให้ผลที่แคบและบางกว่าลักษณะของสายอากาศไดโพลอุดมคติ ส่วนการแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กของสายอากาศไดโพล $\lambda/2$ จะมีลักษณะเป็นวงกลม

2.2.4 การโพลาไรซ์ของสายอากาศ (Antenna Polarization)

การโพลาไรซ์ของสายอากาศ จะใช้ในการอธิบายทิศทางของสนามไฟฟ้าของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในอากาศซึ่งถูกส่งออกไปโดยตัวสายอากาศในทิศทางซึ่งมีความเข้มของสนามสูงสุดและวัดได้ในสนามระยะไกล การสายอากาศจำนวนมากจะมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเชิงเส้น (Linear Polarization) นั่นคือในหนึ่งรอบ (Cycle) เวกเตอร์สนามไฟฟ้าจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และยังถูกแบ่งออกเป็น การโพลาไรซ์แนวตั้ง (Vertical Polarization) และการโพลาไรซ์แนวนอน (Horizontal Polarization) นอกจากนี้ยังมีการโพลาไรซ์แบบวงกลม (Circular) และแบบรูปวงรี (Elliptical) ซึ่งจะได้กล่าวในบทต่อไป

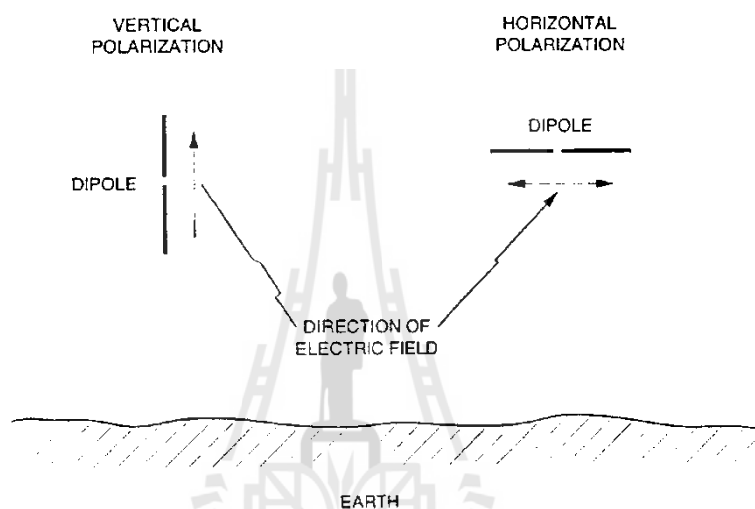


รูปที่ 2.5 การแจกแจงรูปของกระแสบนสายอากาศไดโพล $\lambda/2$



รูปที่ 2.6 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) ของสายอากาศไดโพล $\lambda/2$ (เส้นทึบ) และไดโพลอุดมคติ (เส้นประ)

บ่อยครั้งที่การโพลาไรซ์ของสายอากาศจะพิจารณาจากรูปทรงของตัวสายอากาศเอง เช่น ในกรณีของสายอากาศแบบเส้นลวด ซึ่งอาจจะมีส่วนประกอบเพียงตัวเดียวหรือหลายตัววางขนานกัน (เช่นสายอากาศไดโพลและยาگی) เราสามารถที่จะสมมุติให้สนามไฟฟ้าซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นขนานไปกับส่วนประกอบของตัวสายอากาศ แต่ก็มีสายอากาศบางชนิดซึ่งมีการโพลาไรซ์แบบเชิงเส้นเหมือนกัน แต่ไม่สามารถจะใช้รูปทรงของโครงสร้างมาทำนายการโพลาไรซ์ได้ เช่น สายอากาศปากแตร (Horn) แบบบ่วง (Loop) และแบบร่อง (Slit) เป็นต้น



รูปที่ 2.7 ลักษณะการโพลาไรซ์ของสายอากาศไดโพล

เพื่อให้การรับสัญญาณทำได้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ สิ่งสำคัญก็คือสายอากาศที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจะต้องมีการโพลาไรซ์เป็นแบบเดียวกันกับการโพลาไรซ์ของสัญญาณที่ส่งมา หากเกิดการสูญเสียสัญญาณอันเนื่องมาจากการจัดวางการโพลาไรซ์ไม่ถูกต้อง (เช่น สัญญาณที่รับได้เป็นการโพลาไรซ์ทางแนวตั้งแต่สายอากาศที่ใช้มีการจัดการโพลาไรซ์ทางแนวนอน) เรียกว่า เกิดการแยกการโพลาไรซ์แบบไขว้ (Cross-Polarization Isolation)

2.3 สายอากาศแถวลำดับ (Array Antennas)

สายอากาศแถวลำดับ (Array Antennas) หมายถึง การนำเอาสายอากาศหลายๆ ตัวมาจัดวางเรียงกัน โดยมีระยะห่างที่แน่นอน โดยสายอากาศแต่ละตัวที่นำมาจัดเรียงให้เป็นแถวลำดับนั้น จะเรียกว่า องค์ประกอบ (Element) ซึ่งการนำเอาองค์ประกอบมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับจะทำให้สมรรถนะคล้ายคลึงกับสายอากาศองค์ประกอบเดี่ยวที่มีขนาดใหญ่มาก แต่การจัดเรียงเป็นแถว

ลำดับนั้นจะสามารถจัดปัญหาในเรื่องของกลไกต่างๆ อันเนื่องมาจากขนาดที่ใหญ่เทอะทะของสายอากาศได้

ข้อดีของการนำสายอากาศมาจัดเรียงเป็นแถวลำดับ โดยการใส่สายอากาศที่มีลักษณะเหมือนกันหลายๆ องค์ประกอบแทนการใช้สายอากาศองค์ประกอบเดี่ยว จะทำให้สามารถเพิ่มค่าสภาพเจาะจงทิศทางและค่าอัตราขยายของสายอากาศได้ นอกจากนี้สายอากาศแบบแถวลำดับยังสามารถปรับขนาดของแอมพลิจูดและเฟสของสัญญาณที่ป้อนให้แต่ละองค์ประกอบได้อีกด้วย ซึ่งทำให้สามารถปรับแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานให้เป็นไปตามที่เราต้องการในการใช้งานแต่ละประเภทได้ การเปลี่ยนเฟสอย่างต่อเนื่องของสายอากาศเมื่อเทียบกับเวลาจะทำให้สายอากาศสามารถกวาดลำคลื่นออกไปในทิศทางต่างๆ ได้ ซึ่งในกรณีนี้จะเรียกแถวลำดับแบบนี้ว่า แถวลำดับแบบปรับเฟส (Phased Array)

แถวลำดับแบบปรับเฟส ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลายๆ ประเภท โดยเฉพาะสายอากาศที่ใช้ในงานระบบเรดาร์ การปรับเฟสของแถวลำดับจะใช้วิธีการปรับเฟส โดยอาศัยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์อีกระดับหนึ่ง เพื่อปรับเฟสให้มีผลทำให้ทิศทางการแผ่กระจายกำลังงานสามารถกวาดไปยังตำแหน่งต่างๆ ได้อย่างรวดเร็ว

เราสามารถแบ่งการจัดเรียงองค์ประกอบของแถวลำดับตามรูปร่าง ได้หลายประเภท เช่น แถวลำดับแบบเชิงเส้น (Linear Array) จะประกอบไปด้วยองค์ประกอบจำนวนมากที่จัดเรียงกันอย่างสมมาตรเมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางของแถวลำดับในแนวเส้นตรง ซึ่งอาจจะมีระยะห่างขององค์ประกอบห่างเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ ประเภทต่อไปก็คือ แถวลำดับเชิงระนาบ (Planar Array) จะเป็นการจัดเรียงองค์ประกอบในลักษณะสองมิติบนแผ่นระนาบ ซึ่งการจัดเรียงแถวลำดับในลักษณะนี้ อาจจัดเรียงในลักษณะของสี่เหลี่ยมมุมฉากหรือรูปวงกลมก็ได้โดยขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่มีอยู่ เมื่อพื้นที่ที่ใช้ในการจัดเรียงแถวลำดับมีลักษณะไม่แบนราบ เช่น ที่ส่วนหัวของจรวดหรือเครื่องบิน การจัดเรียงแถวลำดับก็จะต้องมีรูปร่างเป็นไปตามลักษณะของพื้นที่ดังกล่าวด้วย แถวลำดับแบบนี้จะถูกเรียกว่า แถวลำดับแบบคงรูป (Conformal Array)

ถ้าทิศทางของการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุดมีทิศทางตั้งฉากหรือเกือบจะตั้งฉากกับเส้นหรือระนาบของแถวลำดับ แถวลำดับแบบนี้จะมีชื่อเรียกเฉพาะว่า แถวลำดับแบบบรอดไซด์ (Broadside Array) แต่ถ้าทิศทางในการแผ่กระจายกำลังงานสูงสุดมีทิศทางที่ขนานกับระนาบของแถวลำดับ จะมีชื่อเรียกเฉพาะว่า แถวลำดับแบบเอนด์ไฟร์ (End-fire Array)

2.3.1 ตัวประกอบแถวลำดับ (Array Factor)

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศแถวลำดับจะขึ้นอยู่กับตัวประกอบที่แตกต่างกันบางตัวประกอบ ได้แก่ ชนิดขององค์ประกอบที่ใช้และการวางตัวขององค์ประกอบในแถวลำดับ ซึ่งถือว่าเป็นส่วนเฉพาะขององค์ประกอบ ดังนั้นจึงมีผลกระทบโดยตรงต่อแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเฉพาะของแต่ละองค์ประกอบเท่านั้น ตัวประกอบตัวอื่นๆ จะเป็นลักษณะการจัดเรียงตัวของแถวลำดับนั้นคือ จำนวนองค์ประกอบของแถวลำดับ ตำแหน่งขององค์ประกอบ รวมทั้งขนาดแอมพลิจูดและเฟสของกระแสที่ป้อนให้กับองค์ประกอบนั้นๆ

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ปัญหาในทางทฤษฎีของแถวลำดับที่กำหนดในเบื้องต้น เราจะไม่พิจารณาผลของแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่แผ่กระจายออกมาจากแต่ละองค์ประกอบ เนื่องจากต้องการพิจารณาเฉพาะผลที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของแถวลำดับเท่านั้น ซึ่งสามารถทำได้โดยการพิจารณาให้แต่ละองค์ประกอบที่นำมาทำเป็นแถวลำดับเป็นตัวแผ่กระจายคลื่นแบบไอโซทรอปิก (Isotropic Radiator) ที่เป็นมีลักษณะจุด ดังนั้นแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานที่แผ่กระจายออกมาจากแถวลำดับที่มีองค์ประกอบเป็นแหล่งกำเนิดชนิดจุดแบบไอโซทรอปิก จะเรียกว่า ตัวประกอบแถวลำดับ (Array Factor) ของแถวลำดับภายใต้การวิเคราะห์ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบแถวลำดับซึ่งมีผลกระทบต่อแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน สามารถทำได้เพียงแต่การเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือลักษณะของแถวลำดับเท่านั้น

2.3.2 แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน

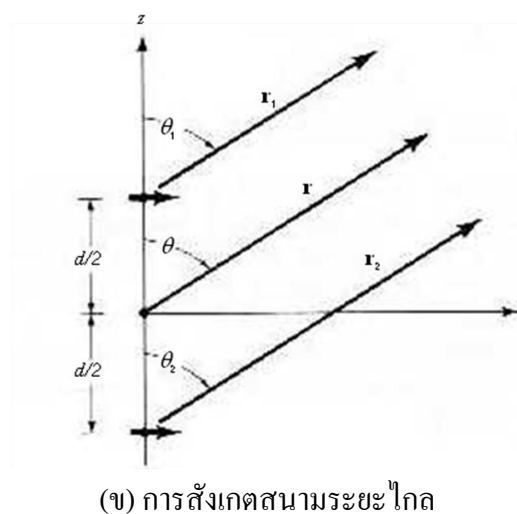
เมื่อหาค่าตัวประกอบแถวลำดับได้แล้ว ต่อไปจะพิจารณาแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานเฉพาะของแต่ละองค์ประกอบ จากนั้นแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานทั้งหมดของแถวลำดับจะสามารถหาได้ โดยใช้หลักการคูณแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงาน (Pattern Multiplication) ซึ่งเป็นการคูณกันระหว่างแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของแต่ละองค์ประกอบกับตัวประกอบแถวลำดับ ตัวอย่างเช่น ถ้าเราพิจารณาสายอากาศแบบร่องบนท่อนำคลื่นซึ่งประกอบด้วยร่องจำนวน 6 ร่อง ซึ่งมีระยะห่างระหว่างร่องเท่ากับ $\lambda/2$ และมีการแผ่กระจายกำลังงานที่มีขนาดและเฟสเท่ากัน ดังนั้นแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานทั้งหมดจะเท่ากับ

แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศแบบร่องบนท่อนำคลื่นที่ประกอบด้วยร่องจำนวน 6 ร่อง	=	แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของแต่ละองค์ประกอบ	×	ตัวประกอบแอมพลิจูดสำหรับ 6 องค์ประกอบที่วางห่างกัน $\lambda/2$ และมีการแผ่กระจายกำลังงานที่มีขนาดและเฟสเท่ากัน
---	---	--	---	--

ตัวประกอบแอมพลิจูดในกรณีนี้จะเป็นแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศแบบไอโซทรอปิก 6 ตัว ซึ่งวางห่างกัน $\lambda/2$ และแผ่กระจายคลื่นด้วยขนาดและเฟสเท่ากัน

2.3.3 แอมพลิจูดแบบสองอีลิเมนต์ (Two-Element Array)

สมมติว่าสายอากาศแอมพลิจูดที่ประกอบขึ้นจากไดโพลจิวแวนอนสองอีลิเมนต์วางในแนวแกน z ดังแสดงในรูปที่ 2.8 (ก)



รูปที่ 2.8 รูปทรงเรขาคณิตของแอมพลิจูดสองอีลิเมนต์ ที่ถูกวางอยู่บนแกน z

สนามรวมที่ถูกต้องแผ่ออกไปจากอีลิเมนต์ทั้งสอง (ซึ่งสมมุติว่าไม่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างอีลิเมนต์) จะมีค่าเท่ากับผลรวมของสนามทั้งสองในระนาบ $y-z$ ซึ่งถูกกำหนดโดยสมการ

$$\mathbf{E}_r = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 = \hat{\mathbf{a}}_\theta j\eta \frac{kI_0 l}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j[kr_1 - (\beta/2)]}}{r_1} |\cos \theta_1| + \frac{e^{-j[kr_2 - (\beta/2)]}}{r_2} |\cos \theta_2| \right\} \quad (2.2)$$

โดยที่ β คือ ความแตกต่างของเฟสที่ป้อนให้ระหว่างอีลิเมนต์ โดยขนาด (Magnitude) ของการกระตุ้นให้กับตัวแผ่กำลังงานจะเหมือนกัน สมมุติให้เป็นการสังเกสนามระยะไกล โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.8(ก)

$$\theta_1 \approx \theta_2 \approx \theta \quad (2.3ก)$$

$$\left. \begin{aligned} r_1 &\approx r - \frac{d}{2} \cos \theta \\ r_2 &\approx r + \frac{d}{2} \cos \theta \end{aligned} \right\} \text{สำหรับการเปลี่ยนแปลงเฟส} \quad (2.3ข)$$

$$r_1 \approx r_2 \approx r \quad \text{สำหรับการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด} \quad (2.3ค)$$

สมการ (2.2) จะลดรูปลงเป็น

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_r &= \hat{\mathbf{a}}_\theta j\eta \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} |\cos \theta| \left[e^{+j(kd \cos \theta + \beta)/2} + e^{-j(kd \cos \theta + \beta)/2} \right] \\ \mathbf{E}_r &= \hat{\mathbf{a}}_\theta j\eta \frac{kI_0 l e^{-jkr}}{4\pi r} |\cos \theta| 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \end{aligned} \quad (2.4)$$

จากสมการ (2.4) สนามรวมของแถวลำดับจะเท่ากับสนามของอีลิเมนต์เดี่ยวซึ่งถูกวางอยู่ที่จุดกำเนิด คุณด้วยค่าตัวประกอบตัวหนึ่ง ที่เรียกกันว่า ตัวประกอบแถวลำดับ (Array Factor) สำหรับแถวลำดับแบบสองอีลิเมนต์ที่มีแอมพลิจูดคงที่ ค่าของตัวประกอบแถวลำดับจะถูกกำหนดโดย

$$AF = 2 \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (2.5)$$

ซึ่งสามารถเขียนสมการในรูปของนอร์มัลไลซ์ ได้คือ

$$(AF)_n = \cos \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (2.5ก)$$

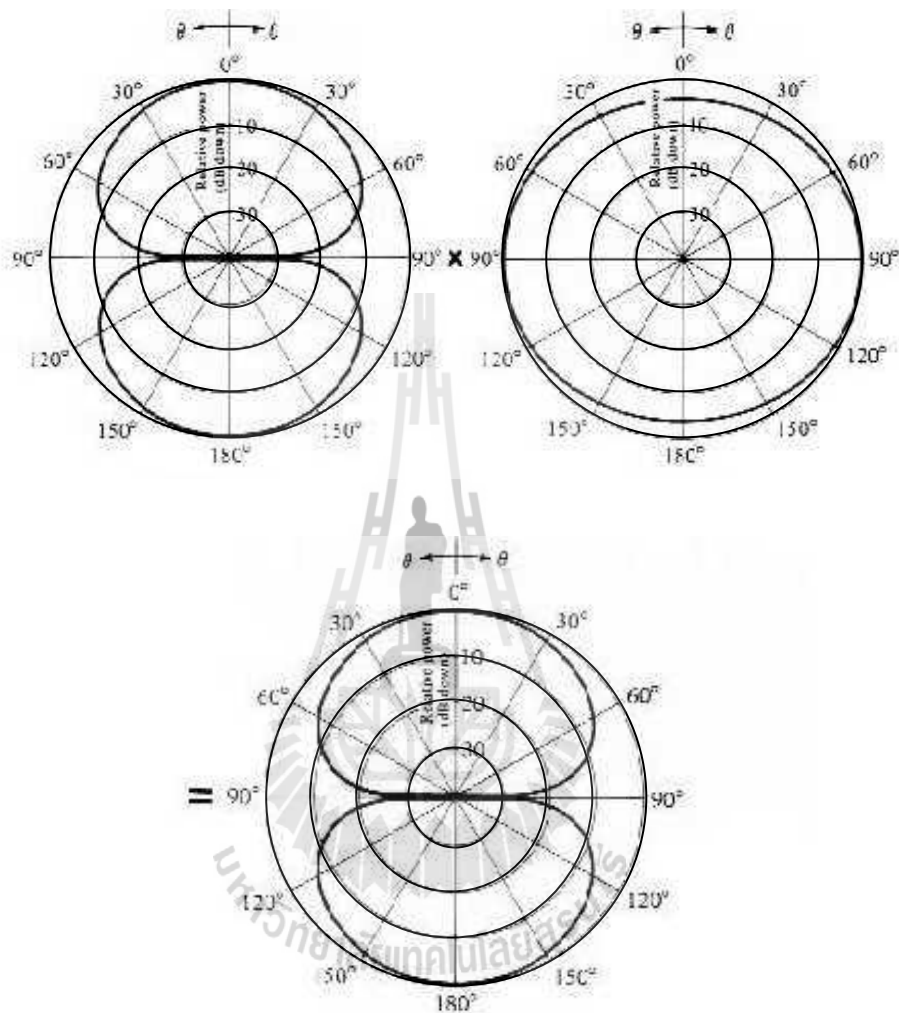
ตัวประกอบแถวลำดับจะเป็นฟังก์ชันของรูปทรงของแถวลำดับและเฟสของกระแสที่ป้อนให้กับแต่ละอีลิเมนต์ โดยการเปลี่ยนแปลงระยะห่าง d และ/หรือ เฟส β ระหว่างอีลิเมนต์ ดังนั้นคุณลักษณะของตัวประกอบแถวลำดับและของสนามรวมของแถวลำดับจะสามารถควบคุมได้

แสดงให้เห็นว่าสนามระยะไกลของแถวลำดับแบบสองอีลิเมนต์ที่เหมือนกันและป้อนกระแสอย่างสม่ำเสมอจะเท่ากับ ผลคูณของสนามที่เกิดจากอีลิเมนต์เดี่ยวที่ถูกเลือกจากจุดอ้างอิง(จะอยู่ที่จุดกำเนิดเสมอ) กับตัวประกอบแถวลำดับ นั่นคือ

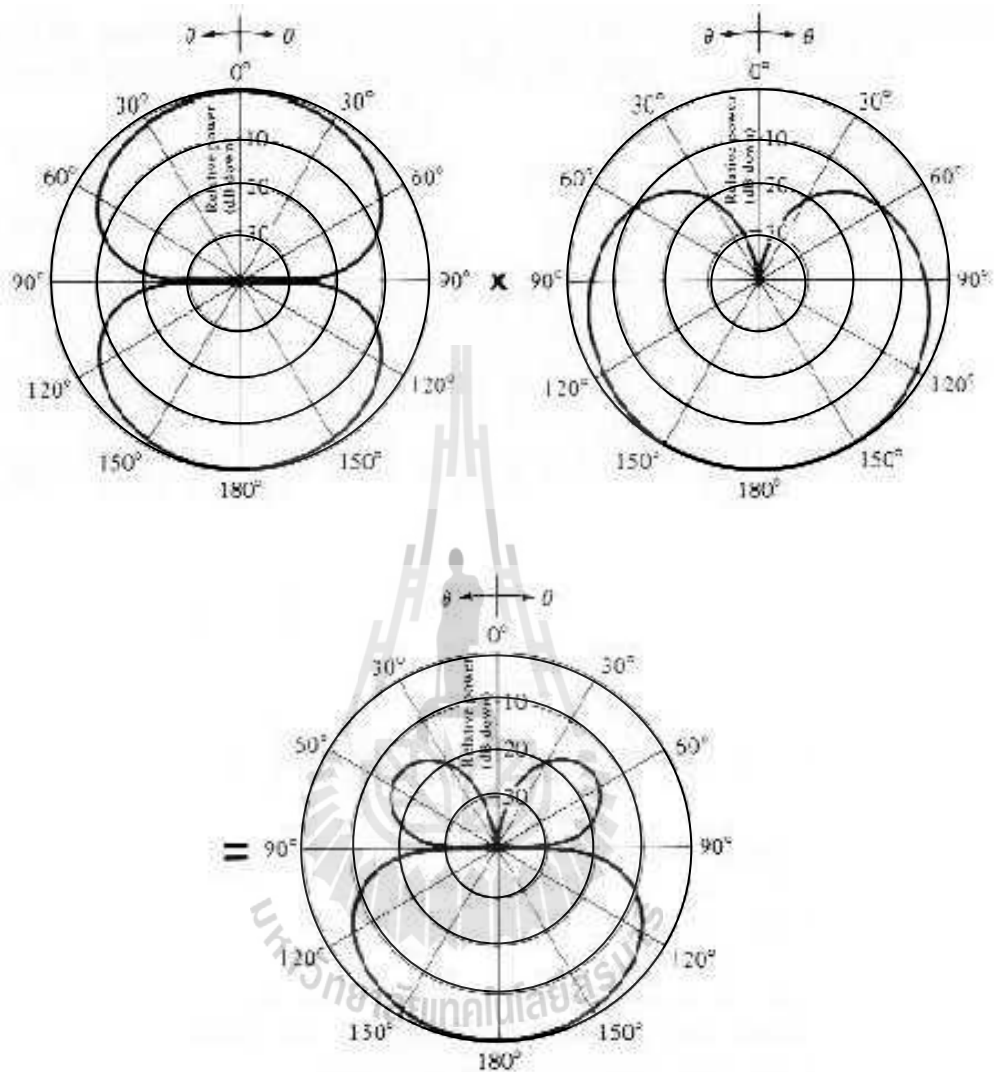
$$E(\text{total}) = [E(\text{single element at reference point})] \times [\text{array factor}] \quad (2.6)$$

วิธีคิดแบบนี้จะเหมือนกับ เป็นการคูณแบบรูปการแผ่กำลังงานของแถวลำดับ (Pattern Multiplication) ที่มีอีลิเมนต์เหมือนกัน ซึ่งจะใช้ได้อย่างถูกต้องในกรณีที่เป็นแถวลำดับตั้งแต่สองอีลิเมนต์ขึ้นไปที่มีลักษณะเหมือนกัน โดยไม่จำเป็นต้องมีขนาดและเฟสของกระแสที่ป้อนสม่ำเสมอ และ/หรือ ระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ต้องเท่ากัน

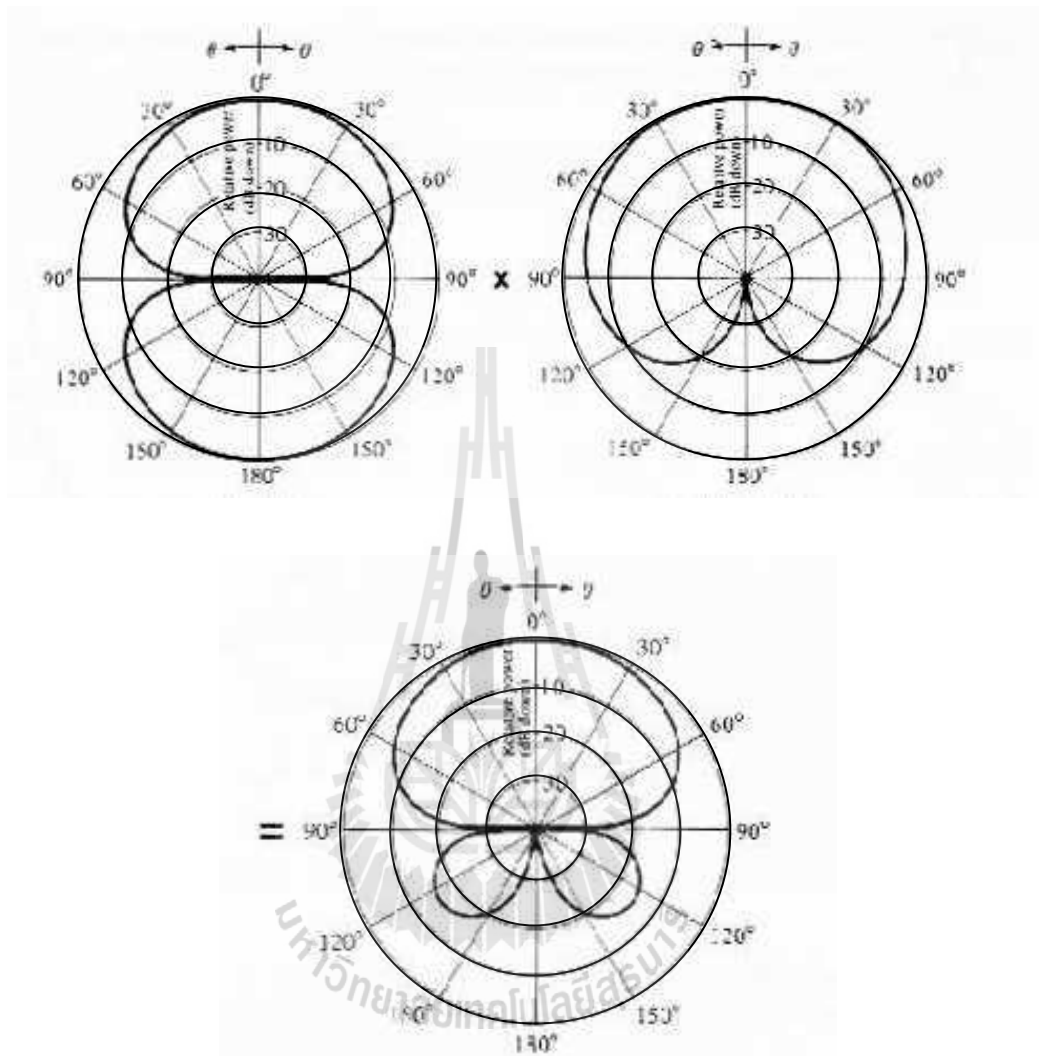
แถวลำดับแต่ละชนิดจะมีค่าตัวประกอบแถวลำดับเฉพาะตัว และจะมีรูปแบบที่ง่าย ถ้าแต่ละอีลิเมนต์มีแอมพลิจูด เฟส และระยะห่าง ระหว่างอีลิเมนต์เหมือนกัน ตัวประกอบแถวลำดับจะไม่ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะการแผ่กำลังงานแบบทิศทางของแต่ละอีลิเมนต์ จึงสามารถเปลี่ยนตัวแผ่กำลังงานจากที่กำหนดให้เป็นอีลิเมนต์ของจริงให้เป็นแบบไอโซทรอปิกหรือแบบจุดแทนได้



รูปที่ 2.9 อีลิเมนต์ ตัวประกอบแกล่าดับ และแบบรูปสนามรวมของสายอากาศแกล่าดับของ ไดโพลจิวที่เหมือนกันสองอีลิเมนต์ซึ่งวางในแนวนอนและมีการป้อนเฟสเหมือนกัน



รูปที่ 2.10 การคูณแบบรูปของอีลิเมนต์ ตัวประกอบแอมพลิจูด และแบบรูปของแอมพลิจูดรวมของสายอากาศแอมพลิจูดของไดโพลจี้ที่เหมือนกันสองอีลิเมนต์ซึ่งวางในแนวนอนและมี การป้อนเฟสต่างกัน $\beta = + \pi/2$



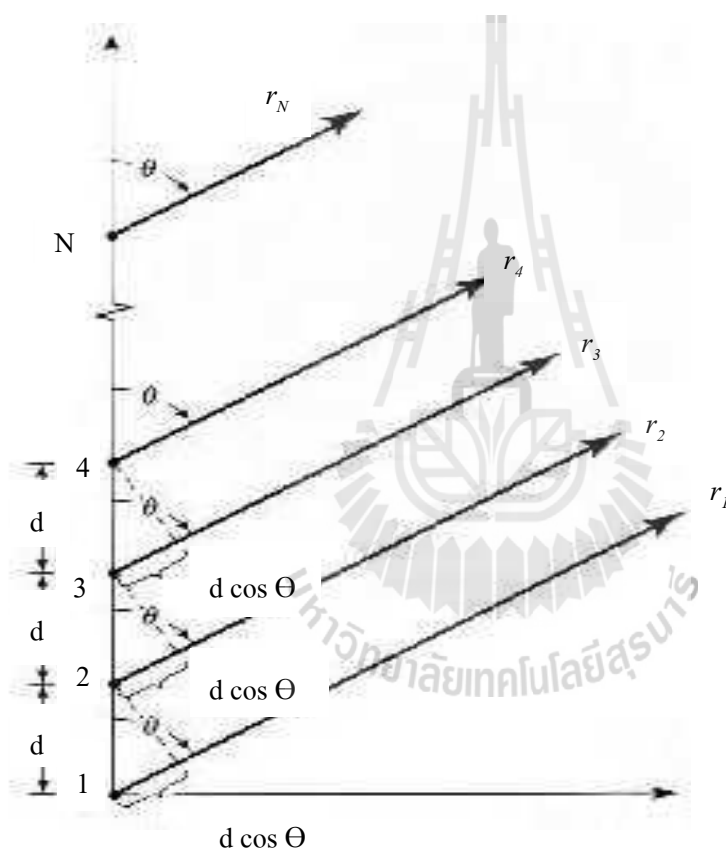
รูปที่ 2.11 การคูณแบบรูปของอีลิเมนต์ ตัวประกอบแถวลำดับ และแบบรูปของแถวลำดับรวมของสายอากาศแถวลำดับของไดโพลจี้ที่เหมือนกันสองอีลิเมนต์ซึ่งวางในแนวนอนและมี การป้อนเฟสต่างกัน $\beta = -\pi/2$

2.3.4 แอลลำดับแบบเชิงเส้น N -อีลิเมนต์ (N -Element Linear Array)

กรณีที่มีแอมพลิจูดและระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์สม่ำเสมอ

เพื่อสร้างวิธีสำหรับอีลิเมนต์เท่ากับ N ใช้คำนวณในกรณีที่มีจำนวน ให้พิจารณาจากรูปทรง ในรูปที่ 2.11 (ก) สมมติว่าทุกอีลิเมนต์มีการป้อนแอมพลิจูดเท่ากัน แต่จะมีเฟสของกระแสที่ป้อน ให้แต่ละอีลิเมนต์นำต่างกันออกไปเท่ากับ β

แอลลำดับของอีลิเมนต์ที่เหมือนกันกระแสที่ป้อนให้กับทุกอีลิเมนต์เท่ากัน และมีความต่างเฟสเป็นลำดับ กัน ไปอย่างเท่าๆกัน ซึ่งจะถูกระบุว่า แอลลำดับแบบสม่ำเสมอ (Uniform Array)



รูปที่ 2.12 รูปการหาสนามระยะไกลของแอลลำดับที่มีอีลิเมนต์เป็นแบบไอโซทรอปิก จำนวน N อีลิเมนต์ที่วางอยู่บนแกน z

ตัวประกอบแอลลำดับสามารถหาได้โดยการพิจารณาอีลิเมนต์ให้เป็นแหล่งกำเนิดแบบจุด ถ้าอีลิเมนต์ที่แท้จริงไม่ใช่แหล่งกำเนิดแบบไอโซทรอปิก สนามรวมสามารถหาได้โดยการคูณ ตัวประกอบแอลลำดับของแหล่งกำเนิดที่เป็นไอโซทรอปิกด้วยสนามของอีลิเมนต์จริงเพียงตัวเดียว วิธีนี้ก็คือ กฎของการคูณแบบรูปการแผ่กำลังงาน (Pattern Multiplication) ของสมการ (2.6)

ซึ่งจะนำไปใช้ได้เฉพาะแถวลำดับที่มีลิเมนต์เหมือนกันเท่านั้น สมการสำหรับหาค่าตัวประกอบแถวลำดับจะกำหนดโดย

$$\begin{aligned} \text{AF} &= 1 + e^{+j(kd \cos \theta + \beta)} + e^{+j2(kd \cos \theta + \beta)} + \dots + e^{j(N-1)(kd \cos \theta + \beta)} \\ \text{AF} &= \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd \cos \theta + \beta)} \end{aligned} \quad (2.7)$$

ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ

$$\begin{aligned} \text{AF} &= \sum_{n=1}^N e^{j(n-1) \psi} \\ \text{โดยที่} \quad \psi &= kd \cos \theta + \beta \end{aligned} \quad (2.8)$$

ตัวประกอบแถวลำดับในสมการ (2.8) สามารถแสดงในรูปอื่นได้เหมือนกัน ซึ่งกะทัดรัดและเป็นรูปแบบปิดมากกว่า ซึ่งฟังก์ชันและการกระจายของสมการจะได้รับการยอมรับมากกว่า และทำให้สำเร็จลงได้โดยการคูณทั้งสองข้างของสมการ (2.8) ด้วย $e^{j\psi}$ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้คือ

$$(\text{AF})e^{j\psi} = e^{j\psi} + e^{j2\psi} + e^{j3\psi} + \dots + e^{j(N-1)\psi} + e^{jN\psi} \quad (2.9)$$

นำสมการ (2.8) ลบออกจากสมการ (2.9) จะลดรูปสมการลงเป็น

$$\text{AF}(e^{j\psi} - 1) = (-1 + e^{jN\psi}) \quad (2.10)$$

หรืออาจจะเขียนอยู่ในรูปของสมการ (2.11) ได้เช่นเดียวกัน

$$\begin{aligned} \text{AF} &= \left[\frac{e^{jN\psi} - 1}{e^{j\psi} - 1} \right] = e^{j[(N-1)/2]\psi} \left[\frac{e^{j(N/2)\psi} - e^{-j(N/2)\psi}}{e^{j(1/2)\psi} - e^{-j(1/2)\psi}} \right] \\ &= e^{j[(N-1)/2]\psi} \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)} \right] \end{aligned} \quad (2.11)$$

ถ้าจุดที่ใช้เป็นเฟสอ้างอิงอยู่ที่จุดศูนย์กลางกลางกายภาพของแถวลำดับ ตัวประกอบแถวลำดับของสมการ (2.11) จะลดรูปลงเป็น

$$AF = \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)} \right] \quad (2.11ก)$$

กรณีที่ค่า ψ มีค่าน้อยๆ สมการข้างบนนี้สามารถจะประมาณค่าได้โดย

$$AF \approx \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\frac{\psi}{2}} \right] \quad (2.11ข)$$

ค่าสูงสุดของสมการ (2.11ก) หรือ (2.11ข) จะมีค่าเท่ากับ N เพื่อทำการนอร์มัลไลซ์ค่าตัวประกอบแถวลำดับให้ค่าสูงสุดของมันมีค่าเท่ากับหนึ่ง ดังนั้นสมการ (2.11ก) และ (2.11ข) จะถูกเขียนให้อยู่ในรูปแบบนอร์มัลไลซ์ได้คือ

$$(AF)_n = \frac{1}{N} \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\psi\right)} \right] \quad (2.11ค)$$

และ

$$(AF)_n = \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\frac{N}{2}\psi} \right] \quad (2.11ง)$$

ในการหาตำแหน่งที่สนามมีค่าเป็นศูนย์ สมการ (2.11ค) หรือ(2.11ง) จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right) = 0 \Rightarrow \frac{N}{2}\psi|_{\theta=\theta_n} = \pm n\pi \Rightarrow \theta_n = \cos^{-1}\left[\frac{\lambda}{2\pi d}\left(-\beta \pm \frac{2n}{N}\pi\right)\right] \quad (2.12)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$n \neq N, 2N, 3N, \dots \quad \text{จากสมการ (2.11ค)}$$

กรณีที $n = N, 2N, 3N, \dots$ ในสมการ (2.11ค) จะทำให้ได้ค่าสูงสุดของมัน เพราะว่าสมการจะลดรูป ลงเป็น $\sin(0)/(0)$ ซึ่งค่าของ n จะถูกใช้ในการพิจารณาอันดับของตำแหน่งที่สนามเป็นศูนย์ (อันดับแรก อันดับสอง เป็นต้น) กรณีที่ค่าศูนย์เป็นจริงได้ก็ต่อเมื่ออาร์กิวเมนต์ของอาร์คโคไซน์ (arccosine) ต้องมีค่าไม่เกินหนึ่ง ดังนั้นจำนวนของตำแหน่งที่สนามเป็นศูนย์ซึ่งจะเป็นจริงได้ จะต้องเป็นฟังก์ชันของระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ d และมีความต่างเฟสของกระแสที่กระตุ้นเท่ากับ β

ค่าสูงสุดของสมการ (2.11ค) จะปรากฏขึ้น

เมื่อ

$$\frac{\psi}{2} = \frac{1}{2}(kd \cos \theta + \beta)|_{\theta=\theta_m} = \pm m\pi \Rightarrow \theta_m = \cos^{-1} \left[\frac{\lambda}{2\pi d} (-\beta \pm 2m\pi) \right]$$

$$m = 0, 1, 2, \dots \quad (2.13)$$

ตัวประกอบแกลวลำดับของสมการ (2.11ง) จะมีเพียงหนึ่งตำแหน่งเท่านั้นที่มีค่าสูงสุด และจะปรากฏขึ้นเมื่อ $m = 0$ ในสมการ (2.13) นั่นคือ

$$\theta_m = \cos^{-1} \left(\frac{\lambda \beta}{2\pi d} \right) \quad (2.14)$$

ซึ่งเป็นมุมสังเกตซึ่งทำให้ $\psi = 0$

จากสมการ(2.11ง) จุดที่ตัวประกอบแกลวลำดับมีค่าสนามเท่ากับ 3-dB จะปรากฏขึ้นเมื่อ

$$\frac{N}{2} \psi = \frac{N}{2} (kd \cos \theta + \beta)|_{\theta=\theta_h} = \pm 1.391$$

$$\Rightarrow \theta_h = \cos^{-1} \left[\frac{\lambda}{2\pi d} \left(-\beta \pm \frac{2.782}{N} \right) \right] \quad (2.15)$$

เช่นเดียวกัน จะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ

$$\theta_h = \frac{\pi}{2} - \sin^{-1} \left[\frac{\lambda}{2\pi d} \left(-\beta \pm \frac{2.782}{N} \right) \right] \quad (2.15ก)$$

กรณีที่ค่าของ $d \gg \lambda$ สมการจะเปลี่ยนเป็น

$$\theta_h \approx \left[\frac{\pi}{2} - \frac{\lambda}{2\pi d} \left(-\beta \pm \frac{2.782}{N} \right) \right] \quad (2.15ข)$$

ความกว้างลำครึ่งกำลัง (Half-Power Beamwidth) สามารถหาได้จากมุมที่สนามมีค่าสูงสุดอันดับแรก (θ_m) ซึ่งจะหาจุดที่กำลังของสนามลดลงครึ่งหนึ่ง (θ_h) ได้ และในกรณีที่แบบรูปการแผ่กำลังงานมีลักษณะสมมาตร จะได้ว่า

$$\Theta_h = 2|\theta_m - \theta_h| \quad (2.15ค)$$

สำหรับค่าตัวประกอบแถวลำดับในสมการ (2.11ง) จะมีค่าของสนามสูงรองลงมาเป็นอันดับสองด้วย (บางทีเรียกว่า โหลบเล็ก) ซึ่งจะปรากฏเป็นค่าโดยประมาณเมื่อส่วนที่เป็นเศษของสมการ (2.11ง) มีค่าสูงสุด

ดังนั้น

$$\begin{aligned} \sin\left(\frac{N}{2}\psi\right) &= \sin\left[\frac{N}{2}(kd \cos\theta + \beta)\right] \Big|_{\theta=\theta_s} \approx \pm 1 \Rightarrow \frac{N}{2}(kd \cos\theta + \beta) \Big|_{\theta=\theta_s} \\ &\approx \pm\left(\frac{2s+1}{2}\right)\pi \Rightarrow \theta_s \approx \cos^{-1}\left\{\frac{\lambda}{2\pi d}\left[-\beta \pm \left(\frac{2s+1}{N}\right)\pi\right]\right\} \\ & \quad s=1, 2, 3, \dots \end{aligned} \quad (2.16)$$

ซึ่งสามารถเขียนสมการในรูปของ

$$\theta_s \approx \frac{\pi}{2} - \sin^{-1}\left\{\frac{\lambda}{2\pi d}\left[-\beta \pm \left(\frac{2s+1}{N}\right)\pi\right]\right\}, \quad s=1, 2, 3, \dots \quad (2.16ก)$$

กรณีที่ระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์ d มีค่ามากๆ ($d \gg \lambda$) สมการก็จะลดรูปลงได้อีกเป็น

$$\theta_s \approx \frac{\pi}{2} - \frac{\lambda}{2\pi d}\left[-\beta \pm \left(\frac{2s+1}{N}\right)\pi\right], \quad s=1, 2, 3, \dots \quad (2.16ข)$$

ค่าสูงสุดของโหลบเล็กอันดับแรก (First Minor Lobe) ของสมการ (2.11ค) จะปรากฏขึ้น โดยประมาณเมื่อ

$$\frac{N}{2}\psi = \frac{N}{2}(kd \cos\theta + \beta) \Big|_{\theta=\theta_s} \approx \pm\left(\frac{3\pi}{2}\right) \quad (2.17)$$

หรือเมื่อ

$$\theta_s = \cos^{-1}\left[\frac{\lambda}{2\pi d}\left(-\beta \pm \frac{3\pi}{2}\right)\right] \quad (2.17ก)$$

ที่จุดนั้น ขนาดของสมการ (2.11ง) จะลดลงเป็น

$$(AF)_n = \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi\right)}{\frac{N}{2}\psi} \right]_{\substack{\theta=\theta_s \\ s=1}} = \frac{2}{3\pi} = 0.212 \quad (2.18)$$

เมื่ออยู่ในหน่วย dB จะเท่ากับ

$$(AF)_n = 20\log_{10} = \left(\frac{2}{3\pi} \right) = -13.46 \text{ dB} \quad (2.18ก)$$

2.3.5 แอลฟาอาร์เรย์ (Broadside Array)

แอลฟาอาร์เรย์ (Broadside Array) จะมีการแผ่กำลังงานของคลื่นมากที่สุดออกไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนของแอลฟาอาร์เรย์ หรือ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 มุมที่มีการแผ่กำลังงานออกไปสูงสุดทั้งของอีลิเมนต์เดี่ยวและของตัวประกอบแอลฟาอาร์เรย์จะชี้ออกไปในทิศทางที่เหมือนกัน สำหรับอีลิเมนต์เดี่ยวนั้นเราสามารถเลือกมาจากตัวแผ่กระจายคลื่นที่มีอยู่หลายชนิดได้ตามความต้องการ ส่วนการเลือกตัวประกอบแอลฟาอาร์เรย์จะพิจารณาจากระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์และกระแสที่ใช้กระตุ้นให้กับแต่ละอีลิเมนต์ที่เหมาะสม

จากสมการ (2.11ค) หรือ (2.11ง) ค่าสูงสุดของตัวประกอบแอลฟาอาร์เรย์จะปรากฏขึ้นเมื่อ

$$\psi = kd \cos \theta + \beta = 0 \quad (2.19)$$

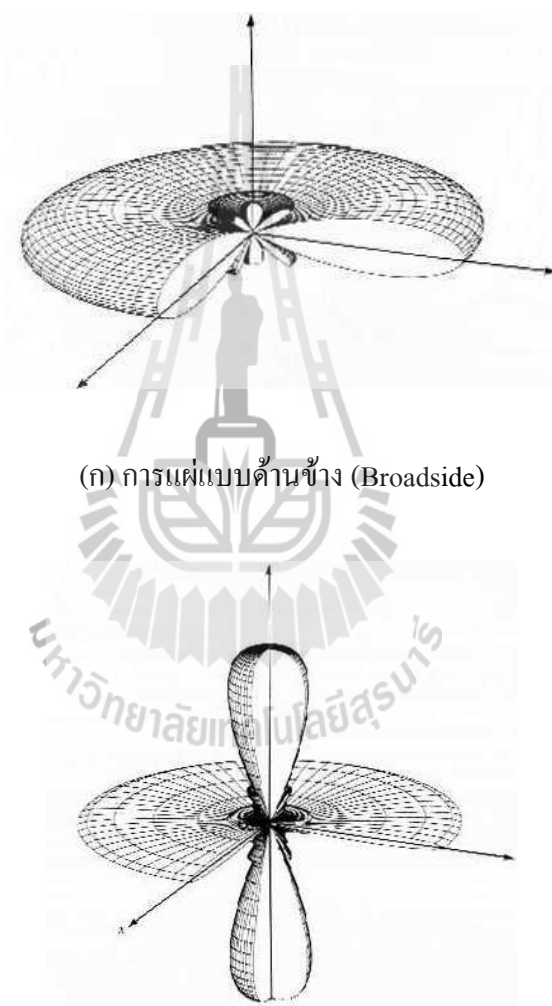
และเนื่องจากเราต้องการให้จุดที่มีค่าสูงสุดชี้ไปในทิศทางที่ $\theta = 90^\circ$ ดังนั้น

$$\psi = kd \cos \theta + \beta \Big|_{\theta=90^\circ} = \beta = 0 \quad (2.19ก)$$

ดังนั้นค่าสูงสุดของตัวประกอบแอลฟาอาร์เรย์ของแอลฟาอาร์เรย์แบบเชิงเส้นสม่ำเสมอ (Uniform Linear Array) ซึ่งมีทิศทางพุ่งออกไปทางด้านข้างของแกนของแอลฟาอาร์เรย์ สามารถจะกำหนดได้โดยการกระตุ้นกระแสให้กับทุกๆ อีลิเมนต์ จากแหล่งกำเนิดที่มีเฟสและแอมพลิจูดเหมือนกัน ระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์อาจจะมีค่าเท่าใดก็ได้ แต่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดค่าสูงสุดที่ตำแหน่งอื่นๆ อีก หรือที่เรียกว่า แกรตติง โลบ (Grating Lobe) ระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์จะไม่กำหนดให้มีค่าเท่ากับจำนวนเท่าของหนึ่งความยาวคลื่น ($d \neq n\lambda$, $n=1, 2, 3, \dots$) เมื่อ $\beta = 0$ ถ้า $d = n\lambda$, $n=1, 2, 3$, และ $\beta = 0$ ดังนั้น

$$\psi = kd \cos \theta + \beta \Big|_{\substack{d=n\lambda \\ \beta=0 \\ n=1,2,3,\dots}} = 2\pi n \cos \theta \Big|_{\theta=0^\circ, 180^\circ} = \pm 2n\pi \quad (2.20)$$

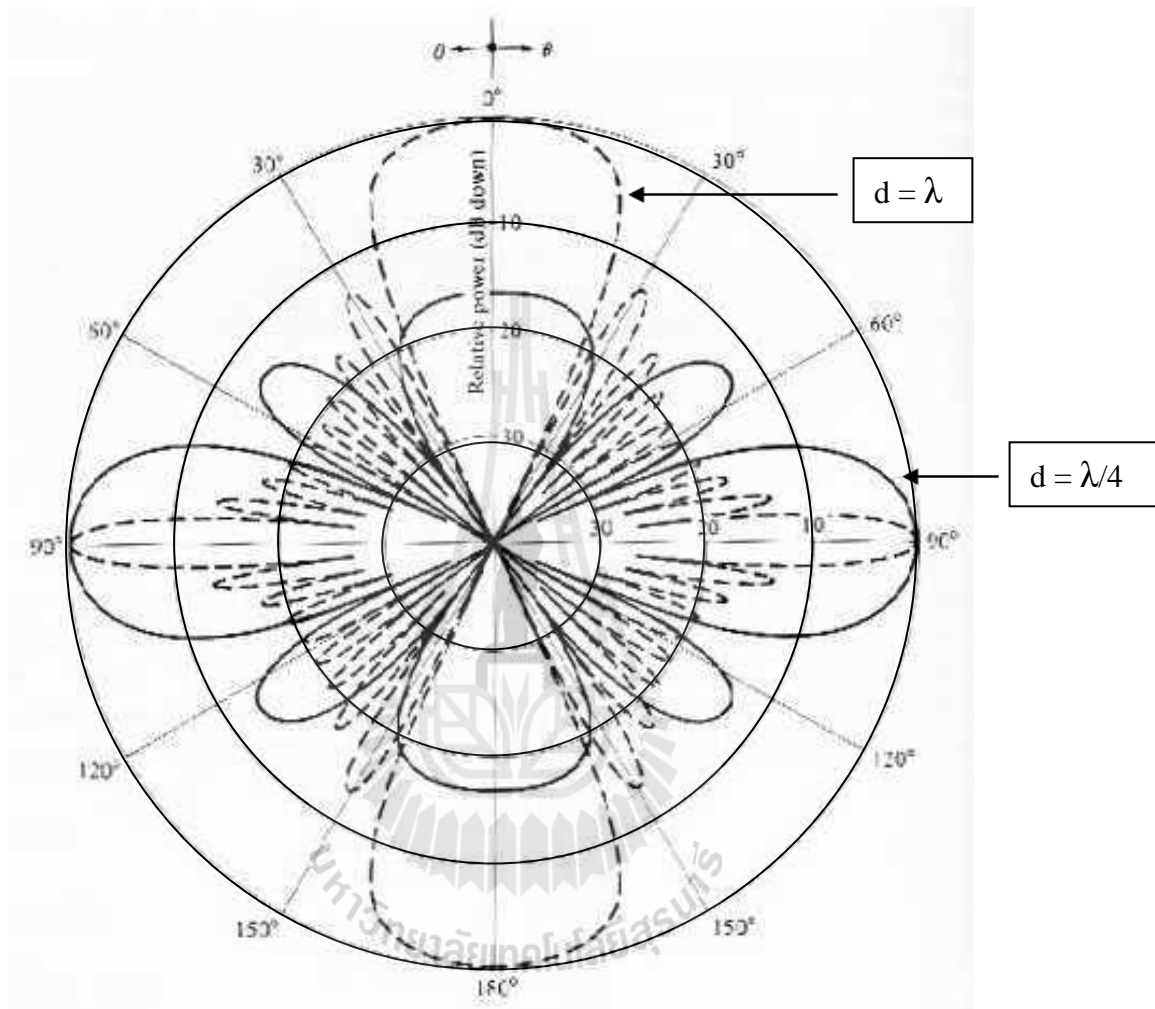
เมื่อแทนค่า ψ ลงในสมการ (2.11ค) จะทำให้ตัวประกอบแกลวลำดับมีค่าสูงสุด ดังนั้นแกลวลำดับ แบบสม่ำเสมอ ซึ่งมีค่า $\beta = 0$ และ $d = n\lambda$ นอกจากจะมีสนามสูงสุดชี้ไปในทิศทางด้านข้างที่ $\theta = 90^\circ$ ของแกนของแกลวลำดับแล้ว ยังเกิดค่าสูงสุดของสนามเกิดขึ้นและชี้ไปตามแนวแกนของแกลวลำดับ $\theta = 180^\circ$ อีกด้วย ซึ่งจะเรียกสนามที่แผ่กระจายออกไปในทิศทางนี้ว่า เอนด์ไฟร์ (End-fire Radiation)



(ก) การแผ่แบบด้านข้าง (Broadside)

(ข) การแผ่แบบด้านข้าง / เอนด์ไฟร์ (Broadside/end-fire)

รูปที่ 2.13 แบบรูปที่แสดงแอมพลิจูดของสนามสามมิติแบบแผ่ด้านข้าง และแบบแผ่ด้านข้าง/เอนด์ไฟร์



รูปที่ 2.14 แบบรูปของตัวประกอบแถวลำดับด้านข้าง ($N=10$, $\beta = 0$)
 ซึ่งมีแอมพลิจูดสม่ำเสมอขนาด 10 อีลิเมนต์

ตาราง 2.1 สรุปสมการสำหรับหาค่าของสนามที่มุมต่างๆ ของแฉวลำดับด้านข้าง

Nulls	$\theta_n = \cos^{-1} \left(\pm \frac{n \lambda}{N d} \right)$ $n = 1, 2, 3, \dots$ $n \neq N, 2N, 3N, \dots$
Maxima	$\theta_m = \cos^{-1} \left(\pm \frac{m \lambda}{d} \right)$ $m = 0, 1, 2, \dots$
Half-Power Points	$\theta_h \approx \cos^{-1} \left(\pm \frac{1.391 \lambda}{\pi N d} \right)$ $\pi d / \lambda \approx 1$
Minor Lobe Maxima	$\theta_s \approx \cos^{-1} \left[\pm \frac{\lambda}{2d} \left(\frac{2s+1}{N} \right) \right]$ $s = 1, 2, 3, \dots$ $\pi d / \lambda \approx 1$

ตาราง 2.2 สรุปสมการสำหรับหาค่าความกว้างลำคลื่นของสนามของแฉวลำดับด้านข้าง

First Null	$\Theta_n = 2 \left[\frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \left(\frac{\lambda}{N d} \right) \right]$
Beamwidth(FNBW)	
Half-Power	$\Theta_h \approx 2 \left[\frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \left(\frac{1.391 \lambda}{\pi N d} \right) \right]$
Beamwidth(HPBW)	$\pi d / \lambda \approx 1$
First Side Lobe	$\Theta_s \approx 2 \left[\frac{\pi}{2} - \cos^{-1} \left(\frac{3 \lambda}{2 d N} \right) \right]$
Beamwidth(FSLBW)	$\pi d / \lambda \approx 1$

2.3.6 แอลฟาดับเบิลยูไฟร์สามัญ (Ordinary End-Fire Array)

แอลฟาดับเบิลยูไฟร์ (End-Fire Array) จะมีการแผ่กำลังงานสูงสุดไปในทิศทางตามแนวแกนของแอลฟาดับเบิลยูไฟร์ และจะแผ่กำลังงานออกไปในทิศทางเดียว ซึ่งอาจจะเป็นที่ $\theta=0^\circ$ หรือ $\theta=180^\circ$ เท่านั้น (จากรูปที่ 2.11) เพื่อให้การแผ่คลื่นสูงสุดออกไปในทิศทาง $\theta=0^\circ$

$$\psi = kd \cos \theta + \beta \Big|_{\theta=0^\circ} = kd + \beta = 0 \Rightarrow \beta = -kd$$

(2.21ก)

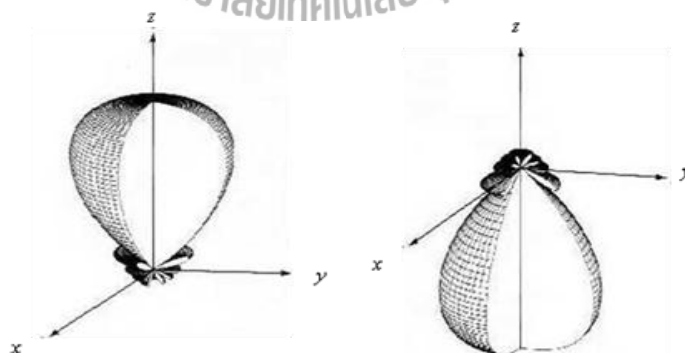
ถ้าต้องการให้มีการแผ่คลื่นสูงสุดในทิศทาง $\theta=180^\circ$ ดังนั้น

$$\psi = kd \cos \theta + \beta \Big|_{\theta=180^\circ} = -kd + \beta = 0 \Rightarrow \beta = kd$$

(2.21ข)

ดังนั้น การแผ่กระจายคลื่นแบบแอลฟาดับเบิลยูไฟร์จะเกิดขึ้นได้ เมื่อกำหนดให้ $\beta = -kd$ ($\theta=0^\circ$) หรือ $\beta = kd$ ($\theta=180^\circ$)

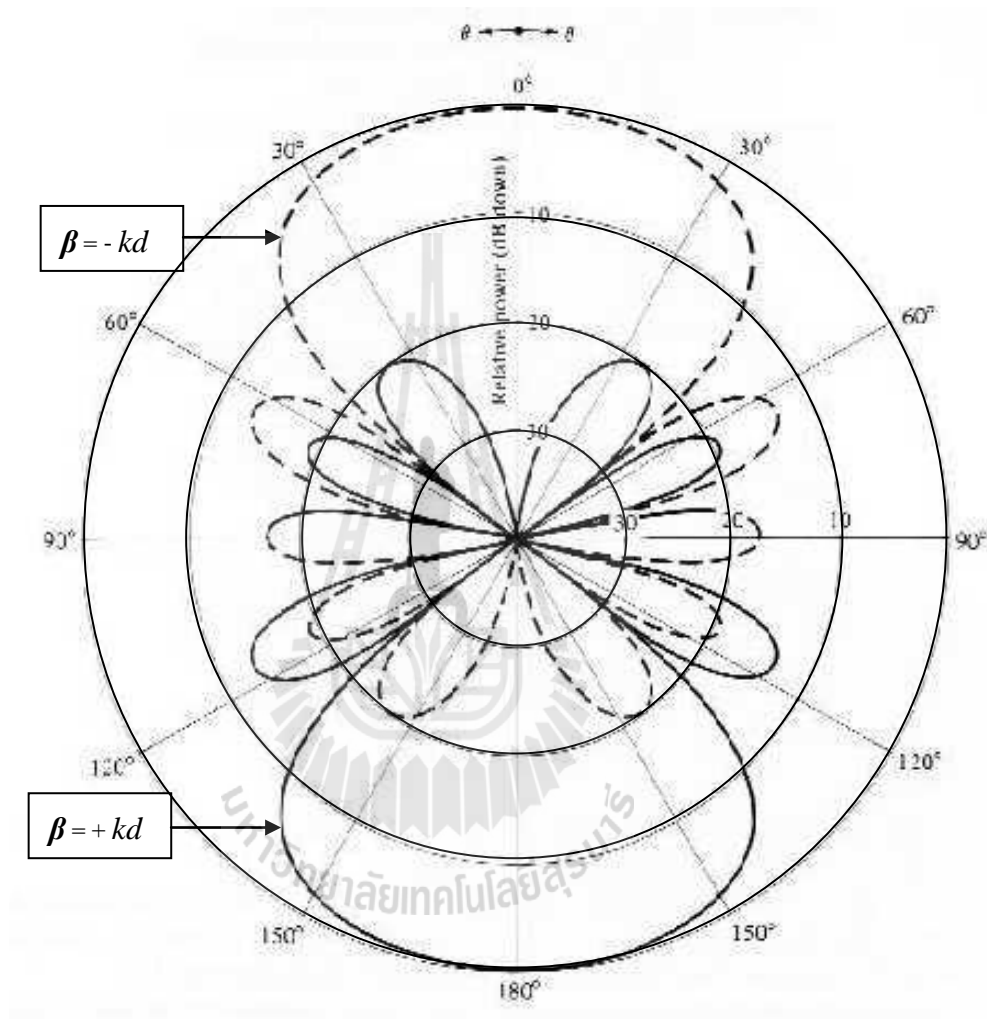
ถ้าระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์เป็นจำนวนเท่าของหนึ่งความยาวคลื่น ($d = n\lambda$, $n = 1, 2, 3, \dots$) ดังนั้น นอกจากการแผ่กระจายคลื่นจะเป็นแบบแอลฟาดับเบิลยูไฟร์แล้ว ยังเกิดค่าสูงสุดในทิศทางด้านข้างด้วย และยังเกิดการแผ่คลื่นแอลฟาดับเบิลยูไฟร์พุ่งไปตามแนวแกนทั้งสองทิศทางด้วย ที่ $\theta=0^\circ$ และ $\theta=180^\circ$ (ด้านข้างสองทิศทางและแอลฟาดับเบิลยูไฟร์อีกสองทิศทาง) เช่นเดียวกับการแผ่คลื่นแบบด้านข้าง หากเราต้องการหลีกเลี่ยงแกรตติ้งโหลบ ระยะห่างสูงสุดระหว่างอีลิเมนต์ควรมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง ความยาวคลื่น ($d_{\max} < \lambda$)



(ก) $\theta=0^\circ$

(ข) $\theta=180^\circ$

รูปที่ 2.15 แบบรูปสามมิติแสดงแอมพลิจูดของสนามของแอลฟาดับเบิลยูไฟร์ที่มีทิศพุ่งไปที่ $\theta=0^\circ$ และ $\theta=180^\circ$



รูปที่ 2.16 แบบรูปของตัวประกอบแถวลำดับแบบเอ็นต์ไฟร์ ($N=10, \beta = +/-kd$)
ขนาด 10 อีลิเมนต์ ซึ่งมีแอมพลิจูดสม่ำเสมอ

ตาราง 2.3 สรุปสมการสำหรับหาค่าของสนามที่มุมต่างๆ ของแฉก ลำดับเอ็นดีไฟร์

Nulls	$\theta_n = \cos^{-1} \left(1 - \frac{n\lambda}{Nd} \right)$ $n = 1, 2, 3, \dots$ $n \neq N, 2N, 3N, \dots$
Maxima	$\theta_m = \cos^{-1} \left(1 - \frac{m\lambda}{d} \right)$ $m = 0, 1, 2, \dots$
Half-Power Points	$\theta_h \approx \cos^{-1} \left(1 - \frac{1.391\lambda}{\pi Nd} \right)$ $\pi d / \lambda \approx 1$
Minor Lobe Maxima	$\theta_s \approx \cos^{-1} \left[1 - \frac{(2s+1)\lambda}{2Nd} \right]$ $s = 1, 2, 3, \dots$ $\pi d / \lambda \approx 1$

ตาราง 2.4 สรุปสมการสำหรับหาค่าความกว้างลำของสนามของแฉก ลำดับเอ็นดีไฟร์

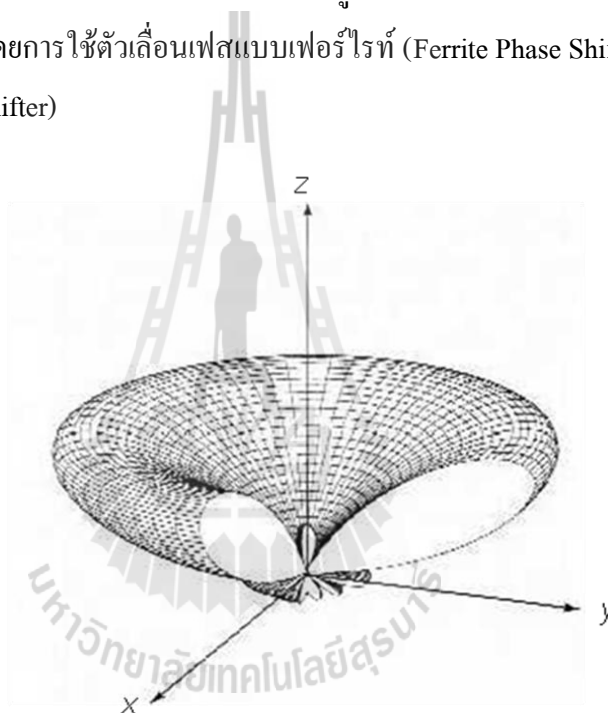
First Null Beamwidth(FNBW)	$\Theta_n = 2 \cos^{-1} \left[1 - \left(\frac{\lambda}{Nd} \right) \right]$
Half-Power Beamwidth(HPBW)	$\Theta_h \approx 2 \cos^{-1} \left[1 - \frac{1.391\lambda}{\pi Nd} \right]$ $\pi d / \lambda \approx 1$
First Side Lobe Beamwidth(FSLBW)	$\Theta_s \approx 2 \cos^{-1} \left[1 - \frac{3\lambda}{2Nd} \right]$ $\pi d / \lambda \approx 1$

2.3.7 แอลลำดับ(การกวาด)เฟส (Phased (Scanning) Array)

แอลลำดับเฟสสามารถที่จะกำหนดการแผ่คลื่นสูงสุดให้อยู่ในทิศทางใดๆ ตามที่เราต้องการได้ ทำให้เกิดแอลลำดับแบบกวาด (Scanning Array) ซึ่งหมุนไปตามมุม θ_0 ($0^\circ \leq \theta_0 \leq 180^\circ$) เฟสของกระแสที่ใช้ในการกระตุ้น β ระหว่างอีลิเมนต์ จะต้องถูกปรับแต่งได้ ดังนั้น

$$\psi = kd \cos \theta + \beta \Big|_{\theta=\theta_0} = kd \cos \theta_0 + \beta = 0 \Rightarrow \beta = -kd \cos \theta_0 \quad (2.22)$$

นี่คือหลักการขั้นพื้นฐานของการทำงานของแอลลำดับเฟสการกวาดแบบอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยี แอลลำดับแบบนี้ การกวาดของเฟสจะต้องถูกเปลี่ยนให้เป็นลำดับกันไประหว่างอีลิเมนต์อย่างต่อเนื่อง โดยการใช้ตัวเลื่อนเฟสแบบเฟอร์ไรท์ (Ferrite Phase Shifter) หรือแบบที่เป็นไดโอด (Diode Phase Shifter)



แบบรูปสามมิติ

รูปที่ 2.17 แบบรูปสามมิติของตัวประกอบแอลลำดับการกวาดขนาด 10 อีลิเมนต์

ซึ่งมีแอมพลิจูดสม่ำเสมอ ($N=10$, $\beta = -kd \cos \theta_0$, $\theta_0 = 60^\circ$, $d = \lambda/4$)

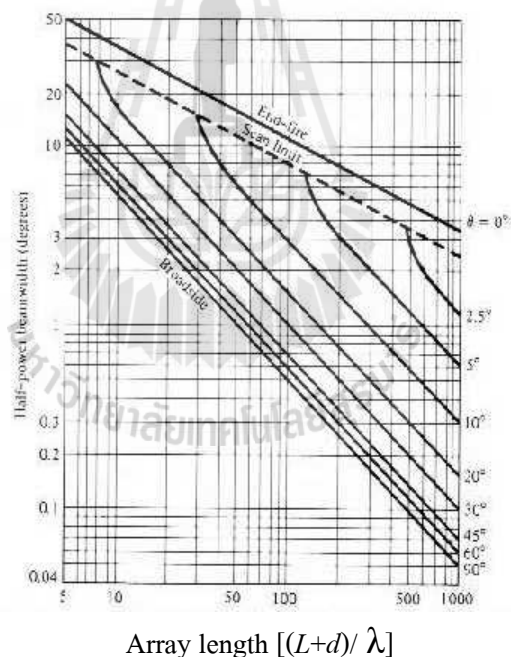
ความกว้างลำครึ่งกำลังของแอลลำดับการกวาด สามารถหาได้โดยการใช้สมการ (2.22) โดยที่ $\beta = -kd \cos \theta_0$ เครื่องหมายลบที่เป็นอาร์กิวเมนต์ของฟังก์ชันโคไซน์ จะเป็นการแสดงมุมด้านหนึ่งของความกว้างลำครึ่งกำลัง และเครื่องหมายบวกจะแสดงมุมอีกด้านหนึ่ง ดังนั้นความกว้างลำทั้งหมดของแบบรูป ก็คือ ผลต่างระหว่างมุมสองมุมนี้ สามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

$$\begin{aligned}\Theta_h &= \cos^{-1} \left[\frac{\lambda}{2\pi d} \left(kd \cos \theta - \frac{2.782}{N} \right) \right] - \cos^{-1} \left[\frac{\lambda}{2\pi d} \left(kd \cos \theta + \frac{2.782}{N} \right) \right] \\ &= \cos^{-1} \left(\cos \theta_0 - \frac{2.782}{Nkd} \right) - \cos^{-1} \left(\cos \theta_0 + \frac{2.782}{Nkd} \right)\end{aligned}\quad (2.23)$$

เนื่องจาก $N = (L+d)/d$ สมการ (2.23) จะลดรูปลง เท่ากับ

$$\begin{aligned}\Theta_h &= \cos^{-1} \left[\cos \theta_0 - 0.443 \frac{\lambda}{(L+d)} \right] \\ &\quad - \cos^{-1} \left[\cos \theta_0 + 0.443 \frac{\lambda}{(L+d)} \right]\end{aligned}\quad (2.23ก)$$

โดยที่ L คือ ความยาวของแถวลำดับ



รูปที่ 2.18 ความกว้างลำครึ่งกำลังของแถวลำดับเชิงเส้นสม่ำเสมอ ที่มีการแผ่คลื่นด้านข้าง แบบ
เอ็นดีไฟร์สามัญและแบบที่มีการกวาด

แถวลำดับเอ็นดีไฟร์ของแฮนเซน-วูดยาร์ด (Hansen-Woodyard End-Fire Array)

เพื่อเพิ่มค่าสภาพเงาเชิงทิศทางของแถวลำดับเอ็นดีไฟร์ โดยไม่ทำให้คุณลักษณะอย่างอื่นเสียหาย ในปี ค.ศ.1938 แฮนเซนและวูดยาร์ด ได้นำเสนอว่า เฟสที่เลื่อนออกไประหว่างอีลิเมนต์ที่อยู่ติดกันของแถวลำดับที่มีความยาวมากๆ ควรจะมีค่าเท่ากับ

$$\beta = -\left(kd + \frac{2.94}{N}\right) \square -\left(kd + \frac{\pi}{N}\right) \Rightarrow \text{สำหรับค่าสูงสุดที่ } \theta = 0^\circ \quad (2.24ก)$$

$$\beta = +\left(kd + \frac{2.94}{N}\right) \square +\left(kd + \frac{\pi}{N}\right) \Rightarrow \text{สำหรับค่าสูงสุดที่ } \theta = 180^\circ \quad (2.24ข)$$

เงื่อนไขดังกล่าวนี้ไม่จำเป็นที่จะต้องให้ค่าสภาพเจาะจงทิศทางที่เป็นไปได้มีค่าสูงสุด ค่าสูงสุดอาจจะไม่ปรากฏขึ้นที่มุมซึ่งถูกกำหนดเอาไว้ที่ผ่านมา และระดับของโพลด้านข้าง (Side Lobe) อาจจะไม่ได้อยู่ที่ -13.46 dB เงื่อนไขทั้งสองจะขึ้นอยู่กับจำนวนอีลิเมนต์ของแถวลำดับ ดังที่เคยแสดงมาแล้ว

เพื่อทำให้เกิดการเพิ่มค่าสภาพเจาะจงทิศทางได้จริงตามเงื่อนไขของ แชนเซน- วูดยาร์ด นอกจากจำเป็นที่จะต้องใช้เงื่อนไขสมการ (2.24ก) และ(2.24ข) แล้ว จะต้องสมมุติค่าของ $|\psi|$ ด้วยกรณีที่มีการแผ่กระจายคลื่นไปตามมุม $\theta = 0^\circ$

$$|\psi| = |kd \cos \theta + \beta|_{\theta=0^\circ} = \frac{\pi}{N} \quad \text{และ} \quad |\psi| = |kd \cos \theta + \beta|_{\theta=180^\circ} \square \pi \quad (2.25ก)$$

กรณีที่มีการแผ่กระจายคลื่นไปตามมุม $\theta = 180^\circ$

$$|\psi| = |kd \cos \theta + \beta|_{\theta=180^\circ} = \frac{\pi}{N} \quad \text{และ} \quad |\psi| = |kd \cos \theta + \beta|_{\theta=0^\circ} \square \pi \quad (2.25ข)$$

สำหรับแถวลำดับที่มีจำนวนอีลิเมนต์เท่ากับ N เงื่อนไขของ $|\psi| \sim \pi$ จะเป็นไปตามสมการ (2.24ก) เมื่อ $\theta = 0$ และสมการ (2.24ข) เมื่อ $\theta = 180^\circ$ และเลือกระยะห่างระหว่างอีลิเมนต์แต่ละตัวเท่ากับ

$$d = \left(\frac{N-1}{N}\right) \frac{\lambda}{4} \quad (2.26)$$

และถ้าอีลิเมนต์มีจำนวนมาก สมการ (2.26) สามารถที่จะประมาณค่าได้ โดยที่

$$d \square \frac{\lambda}{4} \quad (2.26ก)$$

ตัวประกอบแอมพลิจูดของแอมพลิจูด ที่มีจำนวนอีลิเมนต์เท่ากับ N ถูกกำหนดโดยสมการ (2.11ค) ซึ่งเท่ากับ

$$(AF)_n = \frac{1}{N} \left\{ \frac{\sin \left[\frac{N}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right]}{\sin \left[\frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right]} \right\} \quad (2.27)$$

และสามารถประมาณค่าได้ เมื่อ ψ มีค่าน้อยๆ ($\psi = kd \cos \theta + \beta$) ด้วยสมการ (2.11ง) หรือ

$$(AF)_n = \frac{\sin \left[\frac{N}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right]}{\left[\frac{N}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right]} \quad (2.27ก)$$

ถ้าเฟสระหว่างอีลิเมนต์ที่ถูกเลื่อนอย่างเป็นลำดับกันไป มีค่าเท่ากับ

$$\beta = -pd \quad (2.28)$$

โดยที่ p คือ ค่า คงที่

ดังนั้น สมการ (2.27ก) จะเขียนใหม่ได้เป็น

$$(AF)_n = \left\{ \frac{\sin [q (k \cos \theta - p)]}{q (k \cos \theta - p)} \right\} = \left[\frac{\sin (z)}{z} \right] \quad (2.29)$$

โดยที่

$$q = \frac{Nd}{2} \quad (2.29ก)$$

$$Z = q (k \cos \theta - p) \quad (2.29ข)$$

จากการที่ แอนเซน-วูดยาร์ด ได้คิดค้นและคำนวณอย่างขีดยาวเพื่อปรับปรุงค่าสภาพเจาะจง ทิศ ในแนวมุม $\theta = 0^\circ$ ความต่างเฟสระหว่างอีลิเมนต์จะสามารถประมาณค่าได้โดย

$$\beta = -pd = - \left(kd + \frac{2.94}{N} \right) \quad \square \quad - \left(kd + \frac{\pi}{N} \right) \quad (2.30)$$

ตาราง 2.5 สรุปสมการสำหรับหาค่าของสนามที่มุมต่างๆ ของแถวลำดับ
เอ็นดีไฟร์ของแฮนเซน-วูดยาร์ด

Nulls	$\theta_n = \cos^{-1} \left(1 + (1 - 2n) \frac{n\lambda}{2Nd} \right)$ $n = 1, 2, 3, \dots$ $n \neq N, 2N, 3N, \dots$
Maxima	$\theta_m = \cos^{-1} \left\{ 1 + \left[1 - (2m + 1) \right] \frac{\lambda}{2Nd} \right\}$ $m = 1, 2, 3, \dots$ $\pi d / \lambda \square 1$
Half-Power Points	$\theta_h \square \cos^{-1} \left(1 - 0.1398 \frac{\lambda}{Nd} \right)$ $\pi d / \lambda \square 1, N$ มีจำนวนมากๆ
Minor Lobe Maxima	$\theta_s \square \cos^{-1} \left[1 - \frac{s\lambda}{Nd} \right]$ $s = 1, 2, 3, \dots$ $\pi d / \lambda \square 1$

ตาราง 2.6 สรุปสมการสำหรับหาค่าความกว้างลำของสนามของแถวลำดับ
เอ็นดีไฟร์ของแฮนเซน-วูดยาร์ด

First Null Beamwidth(FNBW)	$\Theta_n = 2 \cos^{-1} \left[1 - \left(\frac{\lambda}{2Nd} \right) \right]$
Half-Power Beamwidth(HPBW)	$\Theta_h \square 2 \cos^{-1} \left[1 - 0.1398 \frac{\lambda}{Nd} \right]$ $\pi d / \lambda \square 1, N$ มีจำนวนมากๆ
First Side Lobe Beamwidth(FSLBW)	$\Theta_s \square 2 \cos^{-1} \left[1 - \frac{\lambda}{Nd} \right]$ $\pi d / \lambda \square 1$

2.4 แอลฟาอาร์เรย์แบบระนาบ (Planar Array)

สายอากาศแอลฟาอาร์เรย์แบบระนาบเป็นรูปแบบที่ประยุกต์มาจากรูปแบบสายอากาศแอลฟาอาร์เรย์แบบเส้นที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น สายอากาศแต่ละตัวถูกจัดวางตัวเป็นสี่เหลี่ยมหรือที่เรียกว่าสายอากาศแอลฟาอาร์เรย์แบบระนาบ สายอากาศแอลฟาอาร์เรย์แบบระนาบจะมีแบบรูปการแผ่พลังงานที่ยืดหยุ่นกว่าแบบเส้น คือสามารถควบคุมและเปลี่ยนแปลงแบบรูปการแผ่พลังงานได้ ดังนั้นสายอากาศแอลฟาอาร์เรย์แบบระนาบมีความเอนกประสงค์มากและสามารถให้แบบรูปการแผ่พลังงานที่มีความสมดุลและมีพูรองที่ต่ำ ยิ่งไปกว่านั้นสายอากาศแอลฟาอาร์เรย์แบบระนาบสามารถที่จะหันพูหลักในมุมเงยและทุก ๆ ทิศรอบตัว 360° ดังนั้นสายอากาศแอลฟาอาร์เรย์แบบระนาบจึงเหมาะกับการนำไปใช้ในงานเรดาร์ การชี้ทางระยะไกล (remote sensing) การสื่อสารไร้สายด้วย

เราสามารถคำนวณหาค่าตัวประกอบแอลฟาอาร์เรย์แบบระนาบในแนวแกน X ได้ดังนี้

$$AF = \sum_{m=1}^M I_{ml} e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \quad (2.31)$$

เมื่อ I_{ml} คือค่าสัมประสิทธิ์กระแสกระตุ้นของสายอากาศ dx คือระยะห่างของสายอากาศในแนวแกน X และ β_x คือค่าความต่างเฟสของสายอากาศในแนวแกน X เมื่อพิจารณาเฉพาะแนวแกน Y เช่นเดียวกันกับที่พิจารณาแกน X เราจะได้ค่าตัวประกอบแอลฟาอาร์เรย์เท่ากับ

$$AF = \sum_{n=1}^N I_{nl} e^{j(n-1)(kd_y \sin \theta \cos \phi + \beta_y)} \quad (2.32)$$

เมื่อ I_{nl} คือค่าสัมประสิทธิ์กระแสกระตุ้นของสายอากาศ dy คือระยะห่างของสายอากาศในแนวแกน Y และ β_y คือค่าความต่างเฟสของสายอากาศในแนวแกน Y ดังนั้นเราสามารถหาค่าตัวประกอบแอลฟาอาร์เรย์ของทั้งแกน X และ Y รวมกันหรือที่เรียกว่าแบบระนาบได้ด้วยการคูณค่าตัวประกอบแอลฟาอาร์เรย์ของทั้งแกน X และ Y เข้าด้วยกันจะได้

$$AF = \sum_{n=1}^N I_{nl} \left[\sum_{m=1}^M I_{ml} e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \right] e^{j(n-1)(kd_y \sin \theta \cos \phi + \beta_y)} \quad (2.33)$$

ถ้าสมมติให้แอมพลิจูดของสายอากาศแต่ละต้นทั้งในแกน X และ Y มีค่าเท่ากันจะได้

$$I_{mn} = I_{ml} I_{nl} \quad (2.34)$$

และกำหนดให้แอมพลิจูดมีค่าเท่ากับหนึ่งหน่วยจะได้ $I_{mn} = I_0$ ดังนั้นเราสามารถลดรูปสมการ

(2.50) ลงเหลือเท่ากับ

$$AF = I_0 \sum_{m=1}^M e^{j(m-1)(kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x)} \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)(kd_y \sin \theta \cos \phi + \beta_y)} \quad (2.35)$$

เช่นเดียวกันกับสายอากาศแถวลำดับแบบเส้นเราสามารถทำสมการค่าตัวประกอบให้อยู่ในรูปมาตรฐานได้โดยใช้ฟังก์ชันไซน์ซึ่งจะได้เท่ากับ

$$AF_n(\theta, \phi) = \left\{ \frac{1}{M} \frac{\sin\left(\frac{M}{2}\psi_x\right)}{\sin\left(\frac{\psi_x}{2}\right)} \right\} \left\{ \frac{1}{N} \frac{\sin\left(\frac{N}{2}\psi_y\right)}{\sin\left(\frac{\psi_y}{2}\right)} \right\} \quad (2.36)$$

เมื่อ

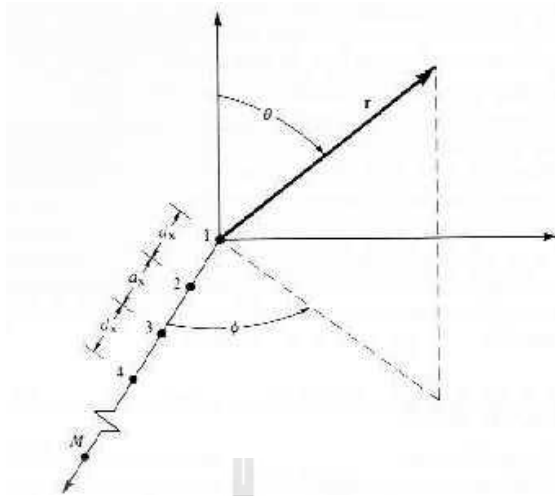
$$\psi_x = kd_x \sin \theta \cos \phi + \beta_x \quad (2.37)$$

$$\psi_y = kd_y \sin \theta \cos \phi + \beta_y \quad (2.38)$$

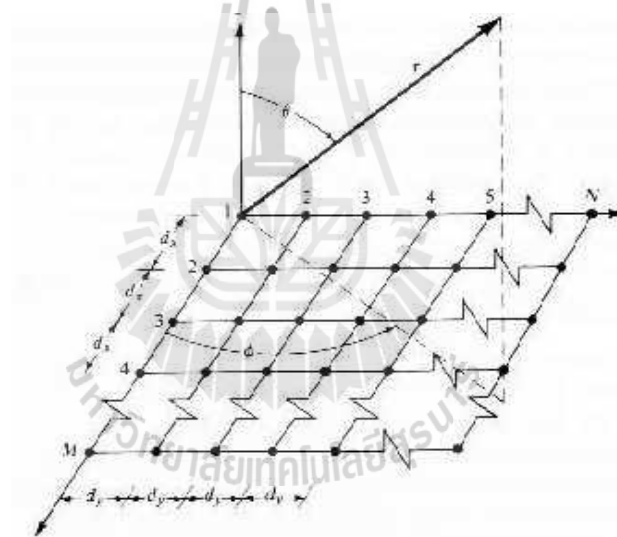
โดยที่

$$\beta_x = -kd_x \sin \theta_0 \cos \phi_0 \quad (2.39)$$

$$\beta_y = -kd_y \sin \theta_0 \sin \phi_0 \quad (2.40)$$

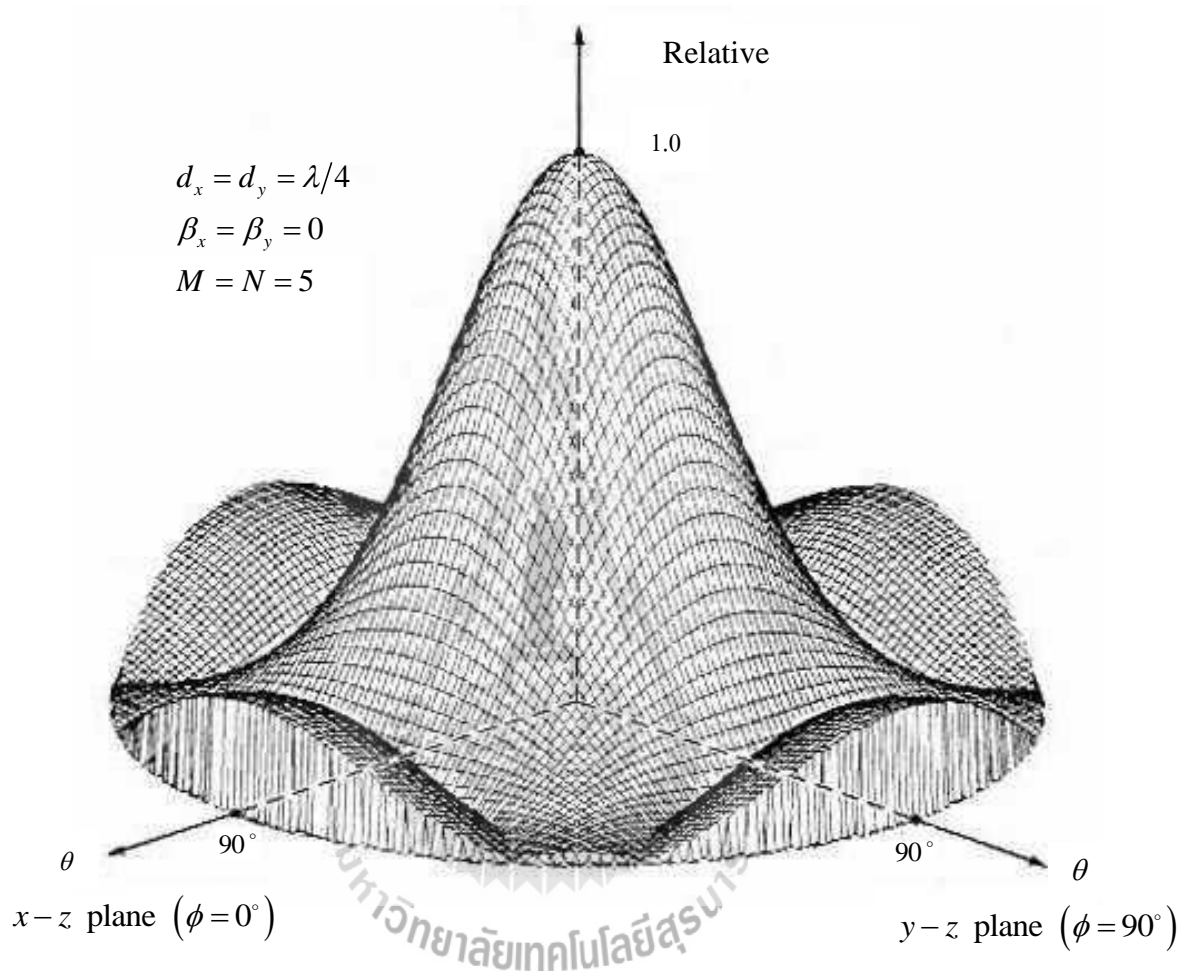


(ก) แลวลำดับแบบเส้นตรง

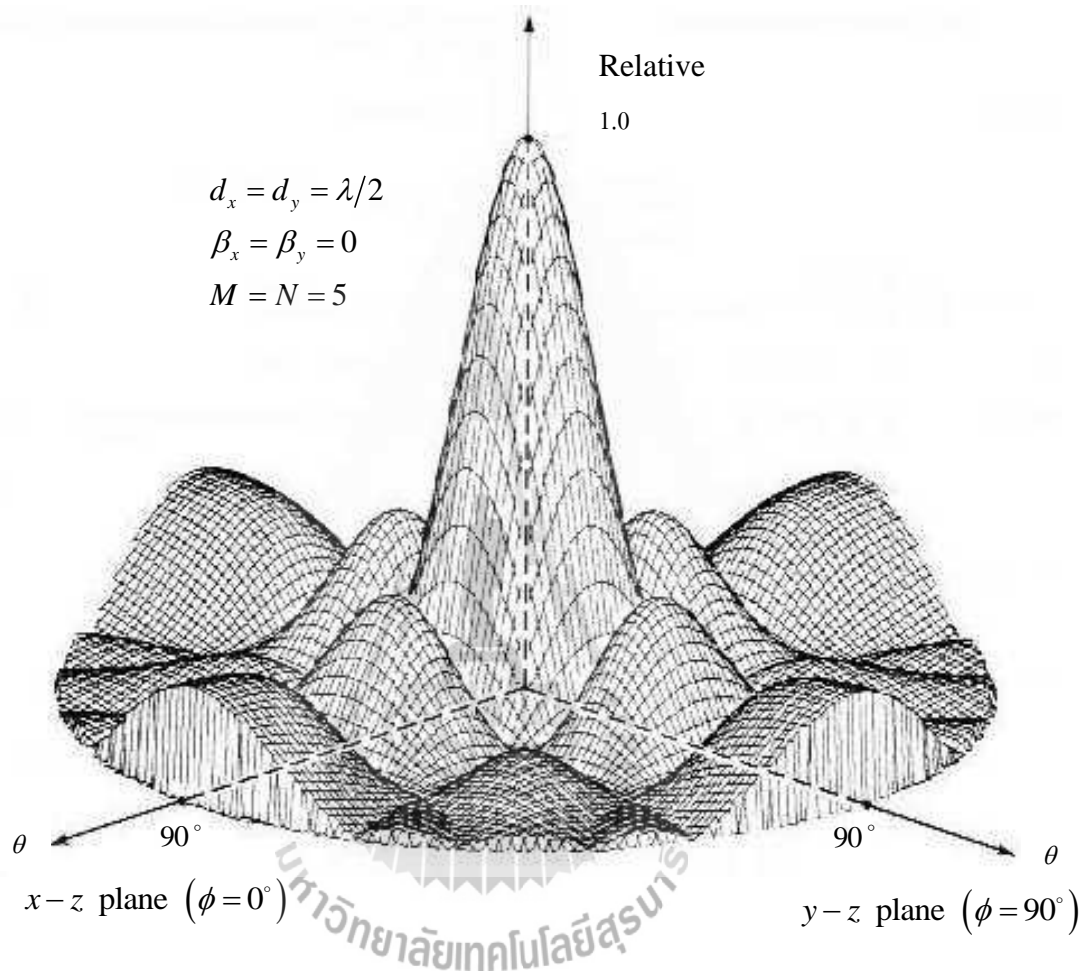


(ข) แลวลำดับแบบระนาบ

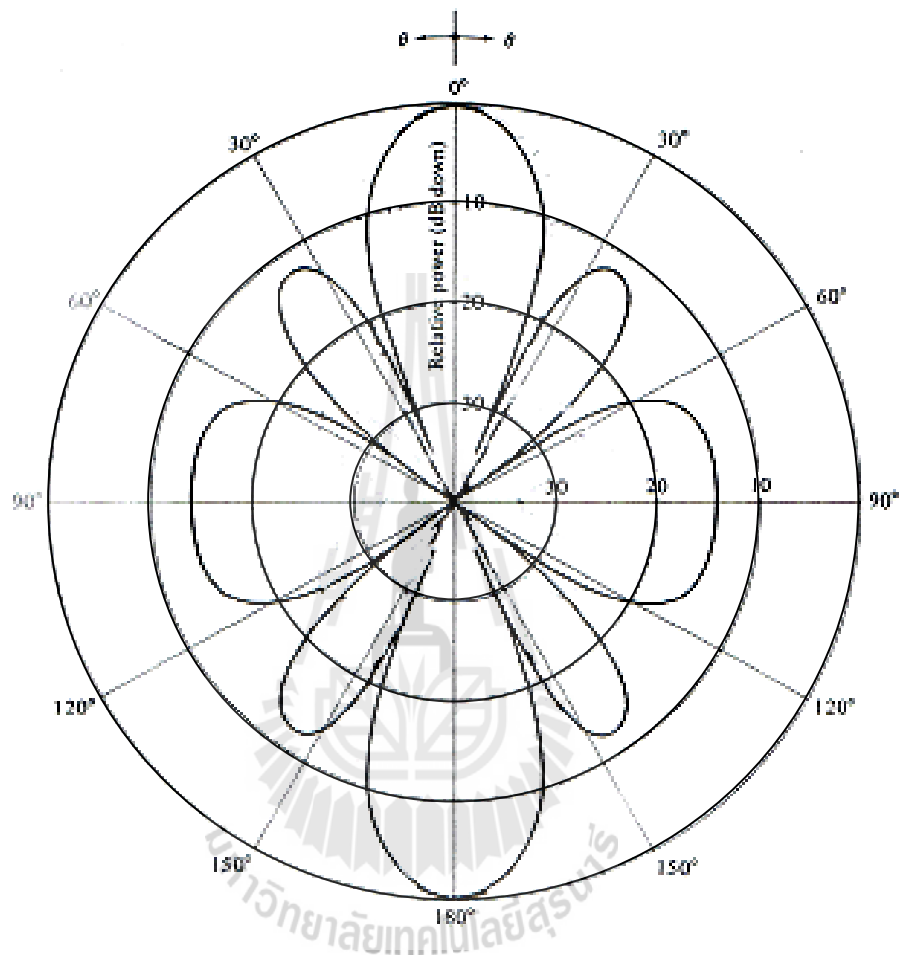
รูปที่ 2.19 รูปร่างของแลวลำดับแบบเส้นตรงและแบบระนาบ



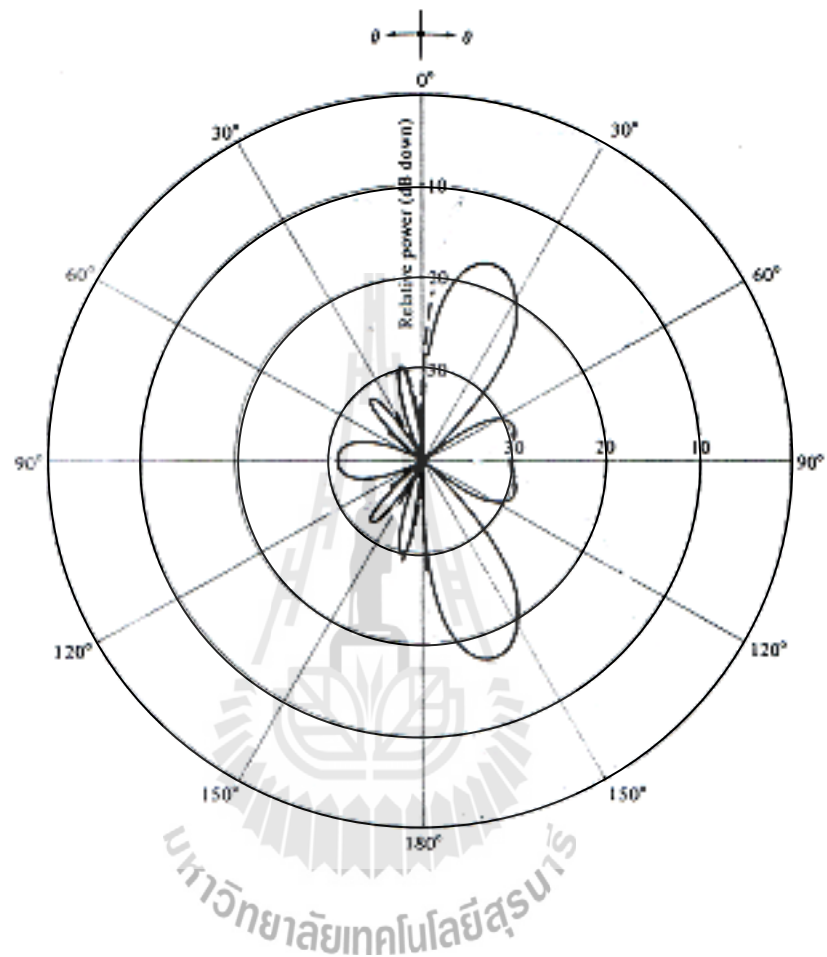
รูปที่ 2.20 แบบรูปสามมิติของสายอากาศแถวลำดับระยะที่มีอีลิเมนต์เป็นไอโซทรอปิกวางห่างกันเท่ากับ $d_x = d_y = \lambda/4$ โดยเฟสและแอมพลิจูดของกระแสที่ป้อนให้แก่ละอีลิเมนต์เหมือนกัน



รูปที่ 2.21 แบบรูปสามมิติของสายอากาศแถวลำดับระนาบที่มีอีลิเมนต์เป็นไอโซทรอปิกวางห่างกันเท่ากับ $d_x = d_y = \lambda/2$ โดยเฟสและแอมพลิจูดของกระแสที่ป้อนให้แก่ละอีลิเมนต์เหมือนกัน



รูปที่ 2.22 แบบรูปสองมิติของแฉวลำดับเชิงระนาบของสายอากาศไอโซทรอปิก ($N=M=5$, $d_x=d_y=\lambda/2$, $\phi=90^\circ$ หรือ 0°) ซึ่งมีเฟสและแอมพลิจูดสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.23 แบบรูปสองมิติของแวลำดับเชิงระนาบของสายอากาศไอโซทรอปิก
 ($N=M=5$, $d_x=d_y=\lambda/2$, $\phi=90^\circ$ หรือ 0° , $\theta_0=30^\circ$, $\phi_0=45^\circ$) ซึ่งมีเฟสและแอมพลิจูดสม่ำเสมอ

2.5 สรุป

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน แอลฟาดีบเฟสเบื้องต้นของสายอากาศ ไดโพล นี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยใช้คุณสมบัติการแสดงผลในโปรแกรม Matlab Gui เพื่อที่จะรับค่าพารามิเตอร์จากผู้ใช้เข้ามาประมวลผลแล้วทำการแสดงผลที่โปรแกรม

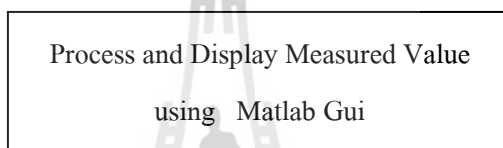


บทที่ 3

การออกแบบและการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน แถวลำดับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล

3.1 บทนำ

กระบวนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน แถวลำดับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพลประมวลผลและแสดงผลโดยโปรแกรม Matlab Gui ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ภาพโครงสร้างโดยรวมของโปรแกรม

3.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมประมวลผลและแสดงผล (Matlab Gui)

3.2.1 กำหนดและออกแบบขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

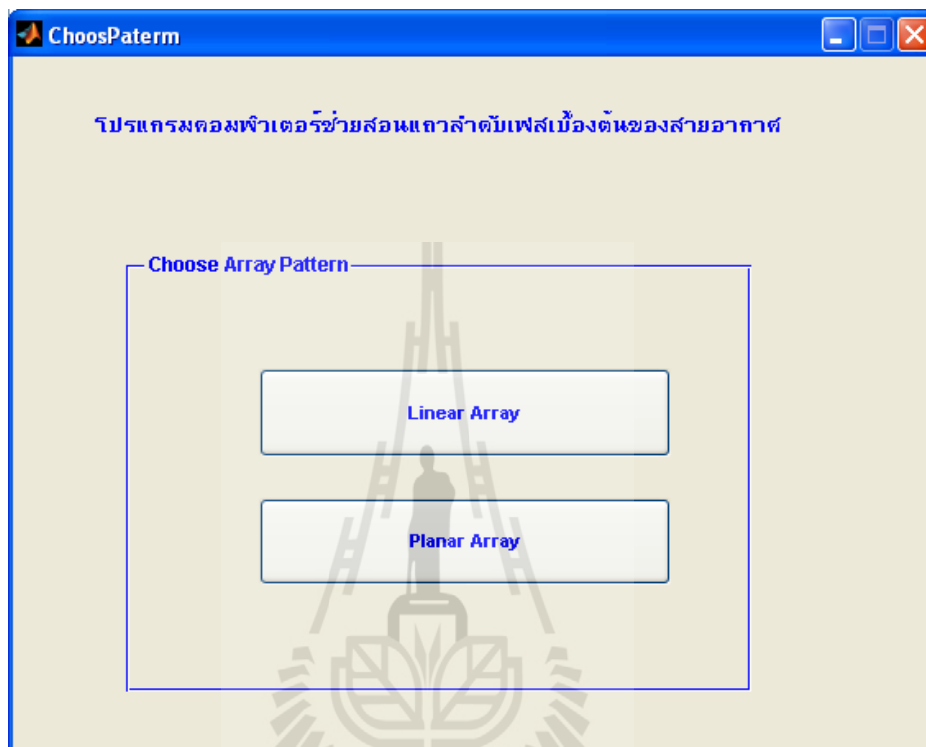
จากรูปที่ 3.2 ได้แสดงแผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมไว้ จากนั้นทำการนำขั้นตอนดังกล่าวไปออกแบบรูปแบบของโปรแกรม



รูปที่ 3.2 ภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

3.3 ออกแบบรูปแบบของโปรแกรม

จากรูปที่ 3.3 ได้แสดงหน้าต่างของโปรแกรมในการรับค่า การประมวลผลและการแสดงผลโดยใช้โปรแกรม Matlab Gui



รูปที่ 3.3 ภาพแสดงรูปแบบของโปรแกรม

เมื่อสร้างหน้าต่างของโปรแกรมขึ้นมาแล้วจึงสร้างตัวควบคุมต่างๆขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยทำการกำหนดคุณสมบัติให้แต่ละตัวควบคุม ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงการกำหนดคุณสมบัติให้กับตัวควบคุมต่างๆของโปรแกรม

สัญลักษณ์	คุณสมบัติ
Frequency (Hz)	ค่าความถี่
Element (N)	จำนวนอิลิเมนต์ของสายอากาศ
Beta (degree)	ความแตกต่างของเฟสที่ผู้ใช้ป้อนให้ระหว่างอิลิเมนต์
Element X , Element Y (M,N)	จำนวนอิลิเมนต์ของสายอากาศในแนวแกน X , Y ตามลำดับ
Phi Zero (degree)	ค่ามุม Phi ที่ผู้ใช้ต้องการแสดงขอบเขตของ Beam สูงสุด
Theta Zero (degree)	ค่ามุม Theta ที่ผู้ใช้ต้องการแสดงขอบเขตของ Beam สูงสุด
Phi (degree)	ค่ามุม Phi ที่ผู้ใช้ต้องการแสดง Pattern

3.4 อธิบายการทำงานของโปรแกรม

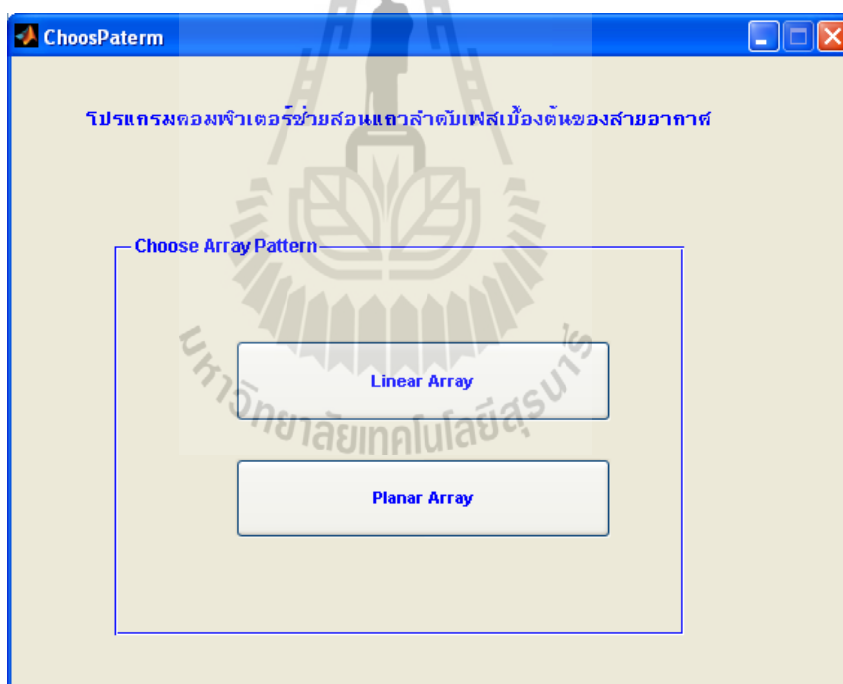
การทำงานของโปรแกรมจะเริ่มจากการประกาศประเภทและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากนั้นรอรับค่าพารามิเตอร์จากผู้ใช้ หลังจากที่ได้รับค่าพารามิเตอร์จากผู้ใช้แล้ว โปรแกรมจะทำการประมวลผลและแสดงผลออกมา เมื่อโปรแกรมได้ทำการแสดงผลออกมาแล้วถือว่าการทำงานของโปรแกรมสิ้นสุดลง

3.5 การทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแถวลำดับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล

เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่มีการประมวลผลและการแสดงผลของโปรแกรม โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.5.1 การเปิดใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแถวลำดับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล

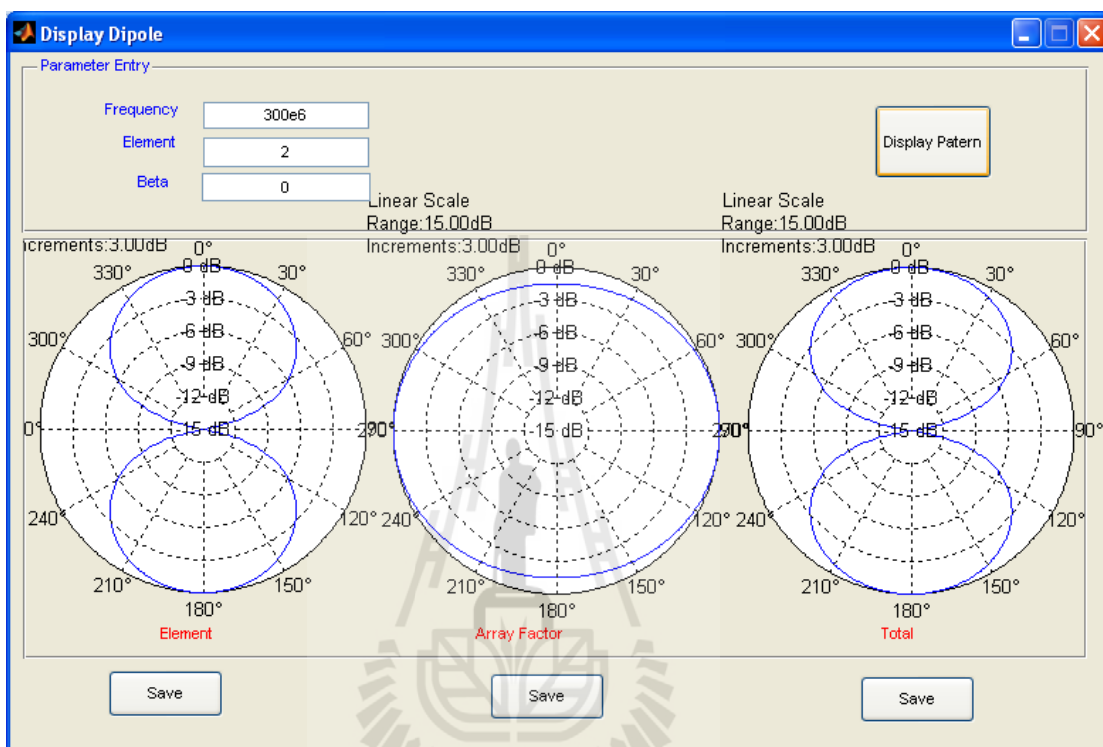
ทำการเปิดโปรแกรม Matlab Gui เพื่อใช้งาน โปรแกรมที่ทำการเขียนไว้แล้วในการทดสอบสามารถเปิดได้โดยตรงจากไฟล์นามสกุล .fig



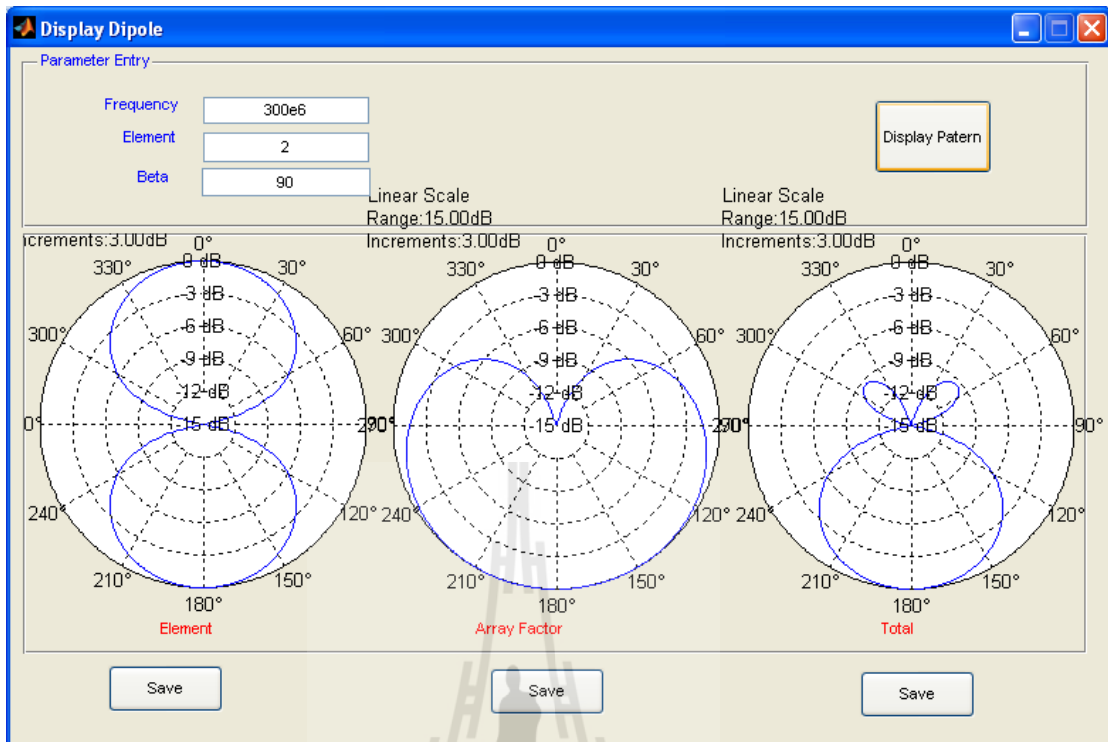
รูปที่ 3.4 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแถวลำดับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล บนหน้าต่างโปรแกรม Matlab Gui

3.5.2 การทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแอมพลิจูดเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพล

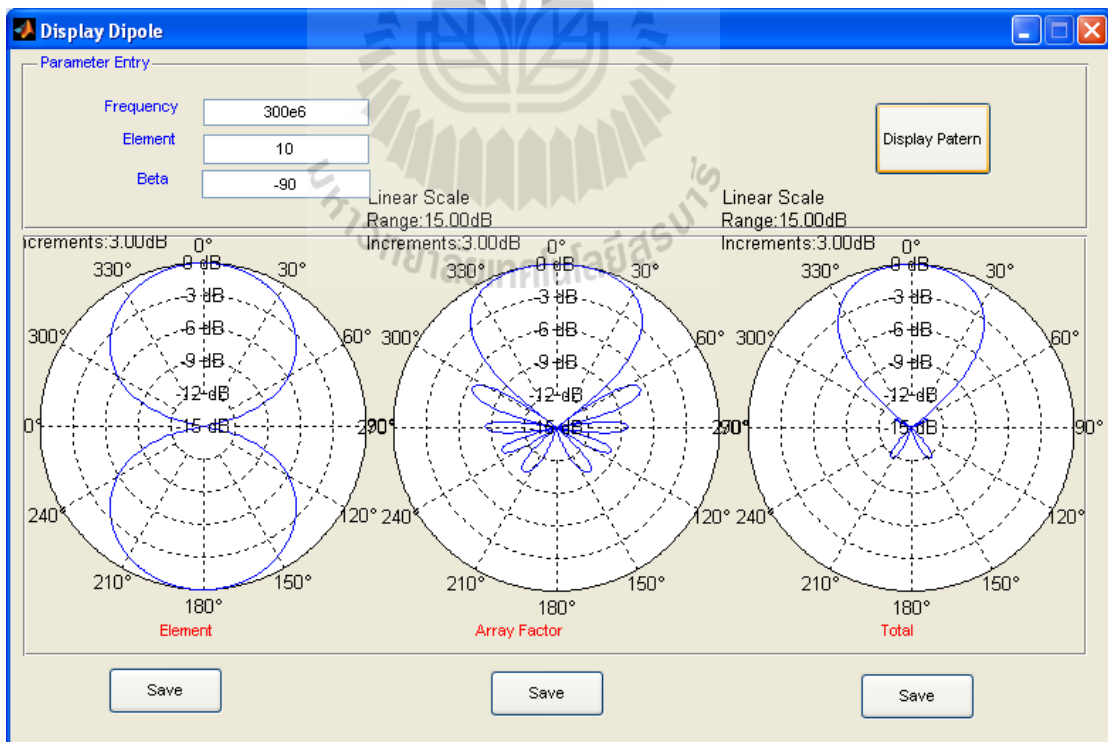
ทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแอมพลิจูดเฟสเบื้องต้นของสายอากาศ ไดโพล โดยที่เราจะทำการแสดงผลต่างๆที่โปรแกรม Matlab Gui ได้ผลแสดงดังรูปที่ 3.5ถึงรูปที่ 3.10



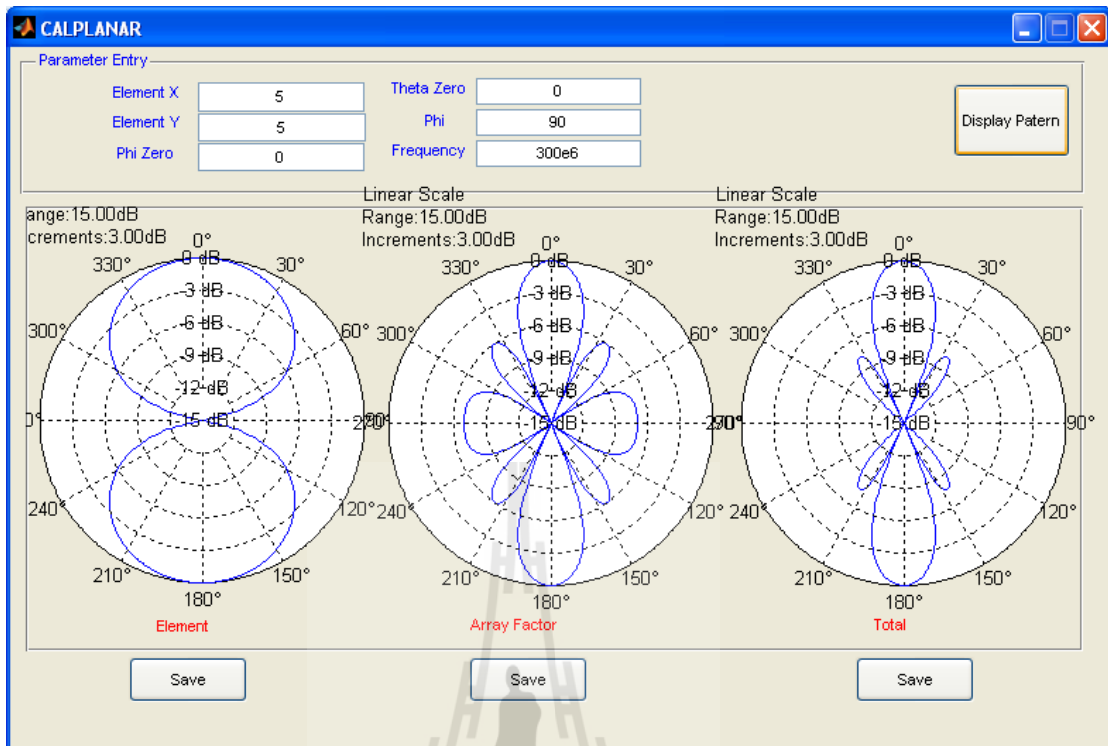
รูปที่ 3.5 ผลการทดสอบแบบ Linear Array โดยใช้ค่า Frequency 300MHz , N=2 ,Beta 0°,d=λ/4



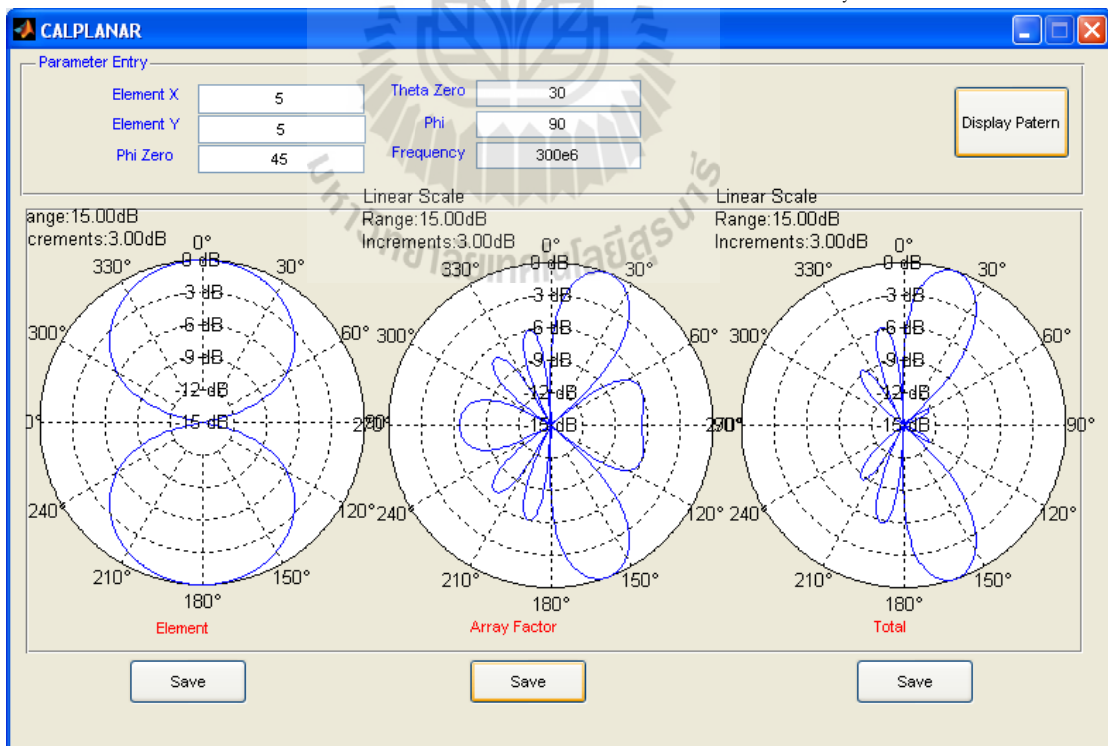
รูปที่ 3.6 ผลการทดสอบแบบ Linear Array โดยใช้ค่า Frequency 300MHz , N=2 , Beta 90°, $d=\lambda/4$



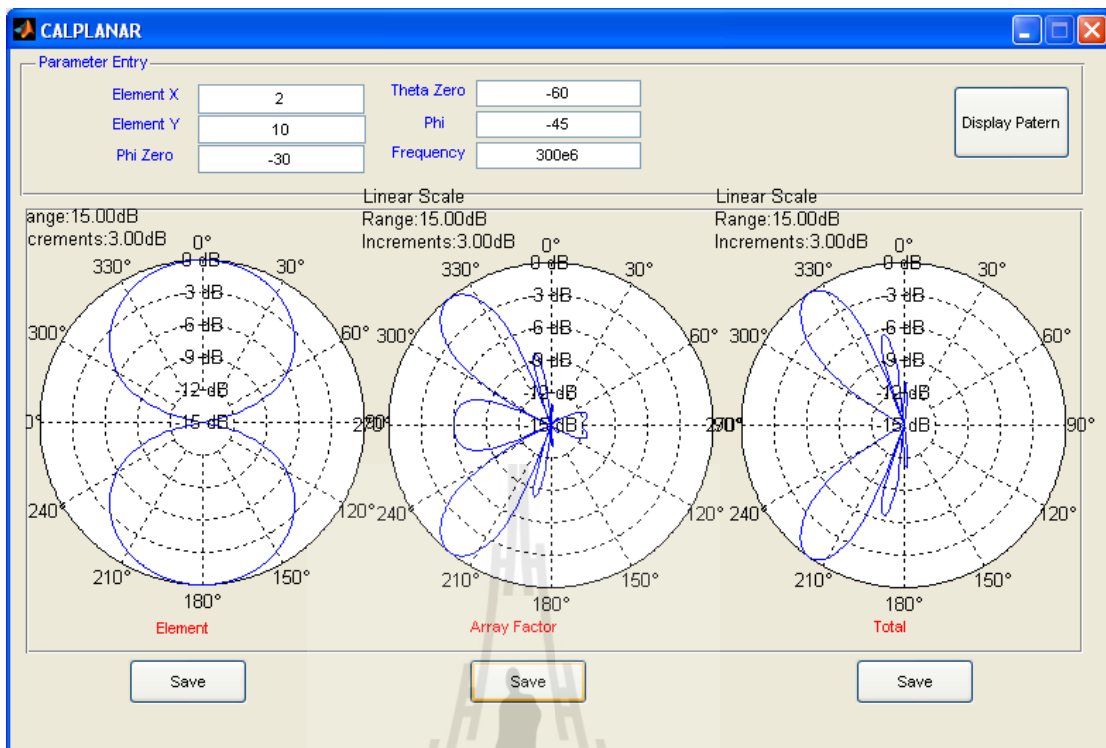
รูปที่ 3.7 ผลการทดสอบแบบ Linear Array โดยใช้ค่า Frequency 300MHz , N=10 ,
Beta -90°, $d=\lambda/4$



รูปที่ 3.8 ผลการทดสอบแบบ Planar Array โดยใช้ค่า Frequency 300MHz , Element X 5 , Element Y 5 , Phi Zero 0° , Theta Zero 0° , Phi 90° , $d_x=d_y=\lambda/2$



รูปที่ 3.9 ผลการทดสอบแบบ Planar Array โดยใช้ค่า Frequency 300MHz , Element X 5 , Element Y 5 , Phi Zero 45° , Theta Zero 30° , Phi 90° , $d_x=d_y=\lambda/2$



รูปที่ 3.10 ผลการทดสอบแบบ Planar Array โดยใช้ค่า Frequency 300MHz , Element X 2 , Element Y 10 , Phi Zero -30° , Theta Zero -60° , Phi -45° , $d_x=d_y = \lambda / 2$

3.6 สรุป

การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน แกลลาคับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศ ไดโพล ด้วยโปรแกรม Matlab Gui เริ่มจากการกำหนดและออกแบบขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม การสร้างหน้าต่างโปรแกรม จัดวางตัวควบคุมต่างๆของโปรแกรม กำหนดคุณสมบัติให้ตัวควบคุม แล้วจึงทำการเขียนโค้ด โปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรม แสดงผลให้ถูกต้องและเป็นไปตามที่เราได้ออกแบบไว้

ผลการทดสอบโปรแกรม คอมพิวเตอร์ช่วยสอน แกลลาคับเฟสเบื้องต้นของสายอากาศ ไดโพล 2 แบบ คือ แบบ Linear Array และ แบบ Planar Array โดยทำการทดสอบทีละแบบ จากผลการทดสอบโปรแกรมพบว่าผลที่ได้จากการทดสอบและผลในทางทฤษฎีมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก นั่นคือโปรแกรมทดสอบชุดนี้สามารถทำงานได้

บทที่ 4

สรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานโดยรวมทั้งหมดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน แอลฟาดีบเฟสเบื้องต้นของสายอากาศ ไดโพล และผลการ ทำงาน โดยรวม รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้น และข้อจำกัดในการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแอลฟาดีบเฟสเบื้องต้นของสายอากาศ ไดโพล

- 4.1.1 รับค่าพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามา
- 4.1.2 ทำการประมวลผลค่าที่รับเข้ามา โดยแบ่งออกเป็น Linear Array กับ Planar Array
- 4.1.3 แสดงผลการคำนวณของโปรแกรม

4.2 ปัญหาที่พบในขั้นตอนการทำงาน

- 4.2.1 ความชำนาญในการเขียนโปรแกรม Matlab Gui น้อย ทำให้งานดำเนินล่าช้า จึงต้องหาผู้ที่เชี่ยวชาญทางด้านโปรแกรม Matlab Gui นี้เข้ามาช่วยสอน ทำให้งานได้ดำเนินลุล่วงจนเสร็จสิ้น
- 4.2.2 โปรแกรมไม่แสดงผลออกมาในตอนแรก ทำให้ต้องหาข้อมูลเพิ่มเติมจนโปรแกรมแสดงผลออกมาได้ใกล้เคียงและตรงตามทฤษฎี

4.3 ผลที่ได้จากโครงการ

- 4.3.1 ทำให้มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยสอน แอลฟาดีบเฟสเบื้องต้นของสายอากาศไดโพลและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตได้
- 4.3.2 ได้เรียนรู้วิธีการออกแบบโปรแกรม และขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

4.4 แนวทางการพัฒนาต่อ

- 4.4.1 ปรับปรุงและพัฒนาโปรแกรมที่ใช้แสดงผลให้มีความหลากหลายและสวยงามด้วยโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ เช่น LabVIEW และ Microsoft Visual Basic เป็นต้น

บรรณานุกรม

- รังสรรค์ วงศ์สวรรค์ และ ชูวงศ์ พงศ์เจริญพาณิชย์ (ม.ป.ป.) **คู่มือการทดลองพื้นฐานของสายอากาศ** สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- Balanis, C. A. (1989). **Advanced Engineering Electromagnetics**. John Wiley & Sons. New York.
- Balanis, C. A. (1997). **Antenna Theory Analysis and Design**. John Wiley & Sons. New York.
- Bergmann, J.R., Hasselmann, F.J.V., Branco, M.G.C. (2002). MoM Analysis of a Reflector Antenna Design for Omnidirectional Coverage. **Antennas and Propagation Society International Symposium**. 4: 148-151.
- Casciola, D., Miers, G.L., and Surette, R.A. (1999). UHF Antenna Choices. **IEEE Transaction Broadcasting**. 45(1): 93-105.
- Cheng, D.K. (1991). Gain Optimization for Yagi-Uda Arrays. **IEEE Antennas and Propagation Magazine**. 33(3): 42-46.
- Dubost, G. (1981). **Flat Radiating Dipoles and Applications to Array**. Research Studies Press a division of John Wiley & Sons LTD. New York.
- Elkamchouchi, H. (2004). The S-Shaped Dipole Antenna. **Proceeding IEEE Microwave and Millimeter Wave Technology, 2004, ICMMT 4th International Conference**. 19-22.
- Hirano, T., Hirokawa, J., and Ando, M. (2000). Method of Moment Analysis of a Waveguide Crossed Slot by using the Eigenmode Basis Functions Derived by the Edge-Based Finite- Element Method. **Proceeding Institute Electric Engineering Microwave Antennas Propagation**. 147(5): 349-353.
- Hirokawa, J. (1993). **A Study of Slotted Waveguide Array Antenna**. Department of Electrical and Electric Engineering, Doctoral Dissertation, Tokyo Institute of Technology.
- Harrington, R. F. (1961). **Time-Harmonic Electromagnetic Fields**. McGraw-Hill. New York.
- Krishnan, S., Li, L.-W., and Leong, M.-S. (2005). A V-Shaped Structure for Improving the Directional Properties of the Loop Antenna. **IEEE Trans. Antennas Propagation**. 53(6): 2114-2117.

- Min, K.S., Ko, J.W., Arai, H., and Kim, D.I. (2001). Circularly Polarized Array Antenna with Electromagnetically Coupled Cross Slot Radiator. **in Proceeding IEEE Microwave Conference, 2001. APMC 2001.2001 Asia-Pacific**. 3: 1147-1150.
- Mizuno, K., Uehara, K., Nishimura, H., Yonekura, T., and Suzuki, T. (1991). Yagi-Uda array for millimeter-wave imaging. **Electronics Letters**. 27(2): 108-109.
- Mushiake, Y. (2003). A report on Japanese developments of antennas from Yagi-Uda antenna to self-complementary antennas. **IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium**. 3: 841-844.
- Mushiake, Y. A theoretical analysis of the multi-element end-fire array with particular reference to the Yagi-Uda antenna. **IEEE Transactions on Antennas and Propagation**. 4(3): 441-444.
- Ray, K.P., Chande, J.V., and Damle, S.H. (1995). The mutual coupling effect on the input impedance and radiation pattern of Yagi antenna in an array environment. **Microwave and Optoelectronics Conference Proceedings, SBMO/IEEE MTT-S International**. 1: 326-331.
- Seki, H. (1985). **Moment and Variation Analysis Slotted Waveguide Antennas and Its Applications**. Doctoral Dissertation, Department of Electrical and Electric Engineering, Tokyo Institute of Technology.
- Underhill, M. J. (2000). Comparison of the predicted performance of typical HF and VHF Yagi-Uda antennas with the theoretical limit of all their elements being driven. **HF Radio Systems and Techniques, Eighth International Conference**. 10-13: 163-168.
- Wang, J-H., Jan, L., and Jian, S-S. (1997). Optimization of the Dipole Shapes for Maximum Peak Values of the Radiating Pulse. **in Proc. IEEE AP-S Int. Symposium**. 526-529.
- William A. Wickline. (1982). Special Properties of "PANEL" Antennas. **Vehicular Technology Conference**. 32: 299-302.

ภาคผนวก (ก)



โปรแกรมควบคุมการทำงานของ Linear Array

```

function varargout = CALDIPOLE(varargin)
% CALDIPOLE M-file for CALDIPOLE.fig
%     CALDIPOLE, by itself, creates a new CALDIPOLE or raises the
existing
%     singleton*.
%
%     H = CALDIPOLE returns the handle to a new CALDIPOLE or the
handle to
%     the existing singleton*.
%
%     CALDIPOLE('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the
local
%     function named CALLBACK in CALDIPOLE.M with the given input
arguments.
%
%     CALDIPOLE('Property','Value',...) creates a new CALDIPOLE or
raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value
pairs are
%     applied to the GUI before CALDIPOLE_OpeningFunction gets
called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes property
application
%     stop. All inputs are passed to CALDIPOLE_OpeningFcn via
varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Copyright 2002-2003 The MathWorks, Inc.

% Edit the above text to modify the response to help CALDIPOLE

% Last Modified by GUIDE v2.5 09-Apr-2010 09:06:27

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @CALDIPOLE_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @CALDIPOLE_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else

```

```

    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before CALDIPOLE is made visible.
function CALDIPOLE_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

% Choose default command line output for CALDIPOLE
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes CALDIPOLE wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = CALDIPOLE_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function txtFrq_Callback(hObject, eventdata, handles)

Frq = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(Frq)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number','Error');
end

% Save the new density value
handles.txtFrq = Frq;
guidata(hObject,handles)

% hObject handle to txtFrq (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of txtFrq as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of txtFrq
as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function txtFrq_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject    handle to txtFrq (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns
called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'
));
end

function txtNo_Callback(hObject, eventdata, handles)
No = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(No)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number','Error');
end

% Save the new density value
handles.txtNo = No;
guidata(hObject,handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function txtNo_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'
));
end

function txtBeta_Callback(hObject, eventdata, handles)

Beta = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(Beta)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number','Error');
end

% Save the new density value
handles.txtBeta = Beta;
guidata(hObject,handles)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of txtBeta as text

```

```

%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
txtBeta as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function txtBeta_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'
));
end

% --- Executes on button press in btnCalculate.
function btnCalculate_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to btnCalculate (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

f=handles.txtFrg;

lamda=3e8/f;
K=2*pi/lamda;
N=handles.txtNo;
d=lamda/4;
beta=handles.txtBeta;
beta=beta*pi/180;

Zetha=0:0.5*pi/180:2*pi;

L=lamda/2;
Etn=cos(K*L/2.*cos(Zetha))-cos(K*L/2)./sin(Zetha);
EMax=max(Etn);
E=abs(Etn);
Etn=(E/EMax);
%Etn=Etn/10;
Atn=sin(0.5*N*(K*d*cos(Zetha)+beta))./sin((K*d*cos(Zetha)+beta)/2);
AMax=max(Atn);
AF=abs(Atn);
Atn=(AF/AMax);
Total=Etn.*Atn;
TotalMax=max(Total);
T=abs(Total);
Total=(T/TotalMax);
%Total=Total/1.4;
rangedb = 15; increments =3; rays = 12;
axes(handles.Element);
cla;

```

```

polar_dB(Zetha,Etn,rangedb,increments,rays);

axes(handles.Array);
cla;
%Atn=Atn*0.5;

polar_dB(Zetha,Atn,rangedb,increments,rays);

axes(handles.Total);
cla;
%polar(Zetha,Total);
polar_dB(Zetha,Total,rangedb,increments,rays);

```



```

function txtDistanct_Callback(hObject, eventdata, handles)

Distanct = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(Distanct)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number','Error');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function txtDistanct_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else

set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'
));
end

function txtLenght_Callback(hObject, eventdata, handles)
Lenght = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(Lenght)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number','Error');
end

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function txtLenght_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc

```

```

        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'
));
end

% --- Executes on button press in RadDipole.
function RadDipole_Callback(hObject, eventdata, handles)
function RadPlanar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject     handle to RadPlanar (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of RadPlanar

% --- Executes on button press in SaveElement.
function SaveElement_Callback(hObject, eventdata, handles)

f=handles.txtFrg;

    lamda=3e8/f;
    K=(2*pi)/lamda;
    N=handles.txtNo;
    d=lamda/4;
    beta=handles.txtBeta;
    beta=beta*pi/180;
    Zetha=0:0.5*pi/180:2*pi;
    rangedb = 15; increments =3; rays = 12;

L=lamda/2;
Etn=cos(K*L/2.*cos(Zetha))-cos(K*L/2) ./sin(Zetha);
EMax=max(Etn);
E=abs(Etn);
Etn=(E/EMax);
%Etn=Etn/10;
figure(1);polar_dB(Zetha,Etn,rangedb,increments,rays);
title('Element');

% --- Executes on button press in SaveArray.
function SaveArray_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

f=handles.txtFrq;

lamda=3e8/f;
K=(2*pi)/lamda;
N=handles.txtNo;

d=lamda/4;
rangedb = 15; increments =3; rays = 12;
beta=handles.txtBeta;
beta=beta*pi/180;
Zetha=0:0.5*pi/180:2*pi;
Atn=sin(0.5*N*(K*d*cos(Zetha)+beta))./sin((K*d*cos(Zetha)+beta)/2);
AMax=max(Atn);
AF=abs(Atn);
Atn=(AF/AMax);
%Atn=Atn*0.5;
figure(1);polar_dB(Zetha,Atn,rangedb,increments,rays);
title('Array Factor');

% --- Executes on button press in SaveTotal.
function SaveTotal_Callback(hObject, eventdata, handles)
f=handles.txtFrq;

lamda=3e8/f;
K=2*pi/lamda;
N=handles.txtNo;
d=lamda/4;
beta=handles.txtBeta;
beta=beta*pi/180;

Zetha=0:0.5*pi/180:2*pi;

L=lamda/2;
Etn=cos(K*L/2.*cos(Zetha))-cos(K*L/2))./sin(Zetha);
EMax=max(Etn);
E=abs(Etn);
Etn=(E/EMax);
%Etn=Etn/10;
Atn=sin(0.5*N*(K*d*cos(Zetha)+beta))./sin((K*d*cos(Zetha)+beta)/2);
AMax=max(Atn);
AF=abs(Atn);
Atn=(AF/AMax);
Total=Etn.*Atn;
TotalMax=max(Total);
T=abs(Total);
Total=(T/TotalMax);
%Total=Total/1.4;
rangedb = 15; increments =3; rays = 12;

figure(1);polar_dB(Zetha,Total,rangedb,increments,rays);

```

โปรแกรมควบคุมการทำงานของ Planar Array

```

function varargout = CALPLANAR(varargin)

gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @CALPLANAR_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @CALPLANAR_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before CALPLANAR is made visible.
function CALPLANAR_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to CALPLANAR (see VARARGIN)

% Choose default command line output for CALPLANAR
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes CALPLANAR wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = CALPLANAR_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function Nx_Callback(hObject, eventdata, handles)
Nx = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(Nx)

```



```

        set(hObject, 'String', 0);
        errordlg('Input must be a number','Error');
    end
handles.Nx = Nx;
guidata(hObject,handles)

function Nx_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'
));
end
function Ny_Callback(hObject, eventdata, handles)
Ny = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(Ny)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number','Error');
end
handles.Ny = Ny;
guidata(hObject,handles)

function Ny_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'
));
end

function Phi_Callback(hObject, eventdata, handles)
Phi = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(Phi)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number','Error');
end
handles.Phi = Phi;
guidata(hObject,handles)

function Phi_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'
));
end

function Phi0_Callback(hObject, eventdata, handles)
Phi0 = str2double(get(hObject, 'String'));

```

```

if isnan(Phi0)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number','Error');
end
handles.Phi0 = Phi0;
guidata(hObject,handles)

function Phi0_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else

set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'
));
end

function Theta0_Callback(hObject, eventdata, handles)
Theta0 = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(Theta0)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number','Error');
end
handles.Theta0 = Theta0;
guidata(hObject,handles)

function Theta0_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else

set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'
));
end

function Frq_Callback(hObject, eventdata, handles)

Frq = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(Frq)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number','Error');
end
handles.Frq = Frq;
guidata(hObject,handles)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function Frq_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc

```

```

        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    else

set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor')
);
end

function Display_Callback(hObject, eventdata, handles)
Frq=handles.Frq;
lamda=3e8/Frq;
Mx=handles.Nx;
Ny=handles.Ny;

dx=lamda/2;
dy=lamda/2;
ZethaZero=handles.Theta0;
PhiZero=handles.Phi0;
Dtor=pi/180;
K=(2*pi)/lamda;

BetaX=-K*dx*sin(Dtor*ZethaZero)*cos(Dtor*PhiZero);
BetaY=-K*dy*sin(Dtor*ZethaZero)*sin(Dtor*PhiZero);

rangedb = 15; increments =3; rays = 12;

%Zetha=pi/180:pi/180:2*pi;
Zetha=0:0.5*pi/180:2*pi;
Phi=handles.Phi*pi/180;

OmegaX=K.*dx.*sin(Zetha).*cos(Phi)+BetaX;
OmegaY=K.*dy.*sin(Zetha).*sin(Phi)+BetaY;

AFtn=((sinc((Mx.*OmegaX/2)./pi)./(sinc((OmegaX./2)./pi))).*(1./Mx));
AFtn=AFtn.*((sinc((Ny.*OmegaY./2)./pi)./(sinc((OmegaY./2)./pi))).*(1.
/Ny));
%AFtn=AFtn*8;
AMax=max(AFtn);
AF=abs(AFtn);
AFtn=(AF/AMax);
L=lamda/2;
Etn=cos(K*L/2.*cos(Zetha))-cos(K*L/2))./sin(Zetha);
EMax=max(Etn);
E=abs(Etn);
EtnP=(E/EMax);
%EtnP=Etn/10;
Total=EtnP.*AFtn;
TotalMax=max(Total);
T=abs(Total);
Total=(T/TotalMax);

axes(handles.Element);
cla;
polar_dB(Zetha,EtnP,rangedb,increments,rays);

```

```

axes(handles.Array);
cla;

polar_dB(Zetha,AFtn,rangedb,increments,rays);

axes(handles.Total);
cla;

polar_dB(Zetha,Total,rangedb,increments,rays);

% --- Executes on button press in SaveElement.
function SaveElement_Callback(hObject, eventdata, handles)
Frq=handles.Frq;
lamda=3e8/Frq;
rangedb = 15; increments =3; rays = 12;
%Zetha=pi/180:pi/180:2*pi;
Zetha=0:0.5*pi/180:2*pi;
L=lamda/2;
Etn=cos(K*L/2.*cos(Zetha))-cos(K*L/2))./sin(Zetha);
EMax=max(Etn);
E=abs(Etn);
EtnP=(E/EMax);
%EtnP=Etn/10;
figure(1);polar_dB(Zetha,EtnP,rangedb,increments,rays);

% --- Executes on button press in SaveArray.
function SaveArray_Callback(hObject, eventdata, handles)
Frq=handles.Frq;
lamda=3e8/Frq;
Mx=handles.Nx;
Ny=handles.Ny;

dx=lamda/2;
dy=lamda/2;
ZethaZero=handles.Theta0;
PhiZero=handles.Phi0;
Dtor=pi/180;
K=(2*pi)/lamda;

BetaX=-K*dx*sin(Dtor*ZethaZero)*cos(Dtor*PhiZero);
BetaY=-K*dy*sin(Dtor*ZethaZero)*sin(Dtor*PhiZero);

```

```

rangedb = 15; increments =3; rays = 12;

%Zetha=pi/180:pi/180:2*pi;
Zetha=0:0.5*pi/180:2*pi;
Phi=handles.Phi*pi/180;

OmegaX=K.*dx.*sin(Zetha).*cos(Phi)+BetaX;
OmegaY=K.*dy.*sin(Zetha).*sin(Phi)+BetaY;

AFtn=((sinc((Mx.*OmegaX/2)./pi)./(sinc((OmegaX./2)./pi))).*(1./Mx));
AFtn=AFtn.*((sinc((Ny.*OmegaY./2)./pi)./(sinc((OmegaY./2)./pi))).*(1./Ny));
AMax=max(AFtn);
AF=abs(AFtn);
AFtn=(AF/AMax);
%AFtn=AFtn*8;

figure(1);polar_dB(Zetha,AFtn,rangedb,increments,rays);

% --- Executes on button press in SaveTotal.
function SaveTotal_Callback(hObject, eventdata, handles)
Frq=handles.Frq;
lamda=3e8/Frq;
Mx=handles.Nx;
Ny=handles.Ny;

dx=lamda/2;
dy=lamda/2;
ZethaZero=handles.Theta0;
PhiZero=handles.Phi0;
Dtor=pi/180;
K=(2*pi)/lamda;

BetaX=-K*dx*sin(Dtor*ZethaZero)*cos(Dtor*PhiZero);
BetaY=-K*dy*sin(Dtor*ZethaZero)*sin(Dtor*PhiZero);

rangedb = 15; increments =3; rays = 12;

%Zetha=pi/180:pi/180:2*pi;
Zetha=0:0.5*pi/180:2*pi;
Phi=handles.Phi*pi/180;

OmegaX=K.*dx.*sin(Zetha).*cos(Phi)+BetaX;
OmegaY=K.*dy.*sin(Zetha).*sin(Phi)+BetaY;

AFtn=((sinc((Mx.*OmegaX/2)./pi)./(sinc((OmegaX./2)./pi))).*(1./Mx));
AFtn=AFtn.*((sinc((Ny.*OmegaY./2)./pi)./(sinc((OmegaY./2)./pi))).*(1./Ny));
AMax=max(AFtn);
AF=abs(AFtn);

```

```

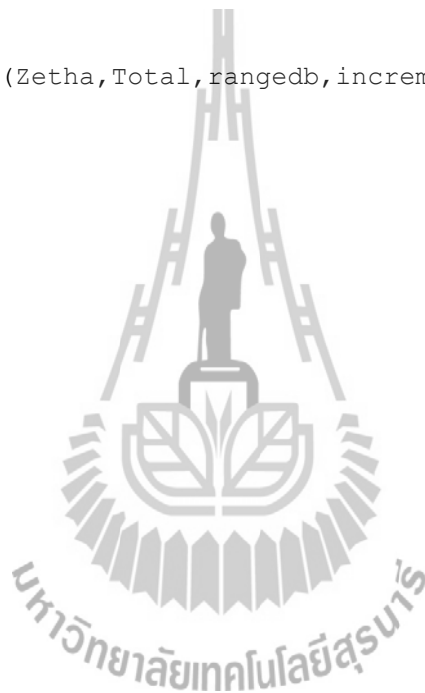
AFtn=(AF/AMax);
%AFtn=AFtn*8;
L=lamda/2;
Etn=cos(K*L/2.*cos(Zetha))-cos(K*L/2))./sin(Zetha);
EMax=max(Etn);
E=abs(Etn);
EtnP=(E/EMax);
%EtnP=Etn/10;
Total=EtnP.*AFtn;
TotalMax=max(Total);
T=abs(Total);
Total=(T/TotalMax);

```

```

figure(1);polar_dB(Zetha,Total,rangedb,increments,rays);

```



โปรแกรมควบคุมการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด

```

function varargout = ChoosPaterm(varargin)
% CHOOSPATERM M-file for ChoosPaterm.fig
%     CHOOSPATERM, by itself, creates a new CHOOSPATERM or raises
the existing
%     singleton*.
%
%     H = CHOOSPATERM returns the handle to a new CHOOSPATERM or the
handle to
%     the existing singleton*.
%
%     CHOOSPATERM('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls
the local
%     function named CALLBACK in CHOOSPATERM.M with the given input
arguments.
%
%     CHOOSPATERM('Property','Value',...) creates a new CHOOSPATERM
or raises the
%     existing singleton*. Starting from the left, property value
pairs are
%     applied to the GUI before ChoosPaterm_OpeningFunction gets
called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes property
application
%     stop. All inputs are passed to ChoosPaterm_OpeningFcn via
varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
only one
%     instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Copyright 2002-2003 The MathWorks, Inc.

% Edit the above text to modify the response to help ChoosPaterm

% Last Modified by GUIDE v2.5 16-Mar-2010 19:56:33

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @ChoosPaterm_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @ChoosPaterm_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else

```

```

    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before ChoosPaterm is made visible.
function ChoosPaterm_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to ChoosPaterm (see VARARGIN)

% Choose default command line output for ChoosPaterm
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes ChoosPaterm wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = ChoosPaterm_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in ChooseDipole.
function ChooseDipole_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ChooseDipole (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
%fig=openfig('CALDIPOLE','reuse');
CALDIPOLE;

% --- Executes on button press in ChoosePlanar.
function ChoosePlanar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to ChoosePlanar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
%fig=openfig('CALPLANAR','reuse');
CALPLANAR

```


ประวัติผู้จัดทำ



นางสาวรัตตินันท์ อินทนิล เกิดเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2529 ภูมิลำเนาเดิม อยู่บ้านเลขที่ 142 หมู่ 1 ตำบลหนองโสน อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี สำเร็จ การศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน เบญจมาศพิทยาสรรพ์ อำเภอ เมือง จังหวัด เพชรบุรี ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 5 สาขาวิชาวิศวกรรม โทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา



นางสาวสรัญญา บริบูรณ์เนื้อ เกิดเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2528 ภูมิลำเนา เดิมอยู่บ้านเลขที่ 150 หมู่ 2 ตำบลเชียงยืน อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี สำเร็จ การศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน อุดรพิชัยรัษฎ์พิทยา อำเภอ เมือง จังหวัด อุดรธานี ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ชั้นปีที่ 5 สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี จังหวัดนครราชสีมา