

การวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศเส้นตรงระยะห่างคงรูปและแอมพลิจูดไม่คงรูป
ANALYSIS OF LINEAR ARRAY ANTENNAS WITH UNIFORM SPACING
AND NONUNIFORM AMPLITUDE

นายพรชัย พุกอูต รหัส 46380239



2550

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2550



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	การวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศเส้นตรงระยะห่างคงรูปและแอมพลิจูดไม่คงรูป
ผู้ดำเนินโครงการ	นายพรชัย พุกอ ต ร หั ส 46380239
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ชัยรัตน์ พินทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2550

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะกรรมการการสอบโครงการวิศวกรรม

.....*ดร.ชัยรัตน์ พินทอง*.....ประธานกรรมการ
(ดร.ชัยรัตน์ พินทอง)

.....*[Signature]*.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา)

.....*[Signature]*.....กรรมการ
(ดร.อักรพันธ์ วงศ์กังแห)

หัวข้อโครงการ	การวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศเส้นตรงระยะห่างคงรูปและแอมพลิจูดไม่คงรูป
ผู้ดำเนินโครงการ	นายพรชัย พุกอุต รหัส 46380239
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ชัยรัตน์ พินทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะของกลุ่มสายอากาศเส้นตรงระยะห่างคงรูปและแอมพลิจูดไม่คงรูปในทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเน้นวิเคราะห์ที่กลุ่มสายอากาศไบโนเมียลและกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ โดยการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศไบโนเมียลจะเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ รวมถึงเปลี่ยนจำนวนอีลีเมนต์ที่นำมาจัดเรียงกัน สำหรับกรณีกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ จะเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์และกำหนดระดับพูข้าง ผลลัพธ์ที่ได้คือ กลุ่มสายอากาศไบโนเมียล จะกำเนิดพูหลักพูเดียวและไม่มีพูข้างเมื่อระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับหรือน้อยกว่าครึ่งความยาวคลื่น กลุ่มสายอากาศทั้งสองชนิดนี้มีสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับสามส่วนของความยาวคลื่น เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มสายอากาศทั้งสองชนิดกับกลุ่มสายอากาศคงรูป พบว่ากลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟโดยส่วนใหญ่แล้วมีคุณลักษณะอยู่ระหว่างกลุ่มสายอากาศคงรูปและกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล โครงการนี้ได้พัฒนาโปรแกรม MATLAB พร้อมด้วยการเชื่อมต่อกับผู้ใช้ภายนอกสำหรับกลุ่มสายอากาศสองชนิดนี้ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาในการคำนวณและทำให้การวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศสะดวกยิ่งขึ้น

Project Title Analysis of Linear Array Antennas with Uniform Spacing and Nonuniform Amplitude

Name Mr.Pornchai Pookeud ID. 46380239

Project Advisor Chairat Pinthong , Ph.D

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic Year 2007

.....

ABSTRACT

This project is the study and analysis of the characteristics of linear array antennas with uniform spacing and nonuniform amplitude, emphasizing on binomial and Dolph-Tschebyscheff array antennas. In binomial arrays, spacing between elements and a number of elements in array are varied. For the case of the Dolph-Tschebyscheff, a spacing between element is varied at given side lobe level. The result shows that binomial array produces one main beam without side lobe when spacing between elements is equal or less than one-half wavelength. Both cases yield maximum directivity at the spacing of three-fourth wavelength. When comparing both antennas with uniform array, it is found that Dolph-Tschebyscheff is mostly a compromise between uniform and binomial arrays. MATLAB program together with graphic user interface is developed for both antennas, hence reducing computation time and making the analysis of array antennas more convenient.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมไฟฟ้าฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือให้คำปรึกษาแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินโครงการตลอดมาจนสำเร็จดังนี้ พ่อและแม่ที่อบรมสั่งสอนเลี้ยงดูจนเติบโตและสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา คร.ชัยรัตน์ พินทอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้คำปรึกษาแนะนำรวมทั้งให้ความช่วยเหลือตลอดมาจนโครงการสำเร็จ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คร.สุรเชษฐ์ กานต์ประชา และ คร.อัครพันธ์ วงศ์กั้งแห คณะกรรมการสอบโครงการที่ให้คำแนะนำและเสียสละเวลาในการคุมสอบโครงการนี้ สำนักหอสมุดและศูนย์บริการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (CITCOM) มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการสืบค้นเนื้อหาและข้อมูลต่างๆรวมถึงการสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตประกอบการทำงาน

สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนและบุคคลอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวถึง ที่ได้ให้คำปรึกษาและให้ความอนุเคราะห์ในการดำเนินโครงการจนสำเร็จ

นายพรชัย พุกอูต
ผู้จัดทำโครงการ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป.....	ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของ โครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการ.....	1
1.3 ขอบข่ายของ โครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.6 งบประมาณ.....	2

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของกลุ่มสายอากาศ

2.1 กลุ่มสายอากาศสองอีลีเมนต์.....	3
2.2 กลุ่มสายอากาศเส้นตรงที่มีจำนวน N อีลีเมนต์ระยะห่างคงรูป และแอมพลิจูดไม่คงรูป.....	5
2.3 กลุ่มสายอากาศไบโนเมียล.....	8
2.4 กลุ่มสายอากาศ คอรัฟ-เซบีเซฟ	10

บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศ

3.1 ผลการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศไบโนเมียล.....	15
3.2 ผลการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศคอรัฟ-เซบีเซฟ.....	24

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศ.....	37
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	37

เอกสารอ้างอิง.....	38
--------------------	----

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การอินทิเกรตเชิงตัวเลขโดยใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมู.....	39
ภาคผนวก ข ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง.....	40
ภาคผนวก ค สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด.....	43
ภาคผนวก ง โปรแกรมวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศ	48
ภาคผนวก จ การเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก.....	61

ประวัติผู้เขียนโครงการ.....	64
-----------------------------	----

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์ โดยมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ d	17
3.2 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์ โดยมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$	18
3.3 สภาพเจาะงทศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์.....	19
3.4 สภาพเจาะงทศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์ โดยมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$	20
3.5 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังและสภาพเจาะงทศทางสูงสุด ของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล.....	22
3.6 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟ 10 อีลีเมนต์.....	26
3.7 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศ คอล์ฟ-เซบีเซฟ 10 อีลีเมนต์ โดยมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$	27
3.8 สภาพเจาะงทศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟ.....	28
3.9 สภาพเจาะงทศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศ คอล์ฟ-เซบีเซฟ 10 อีลีเมนต์ โดยมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$	29
3.10 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังและสภาพเจาะงทศทางสูงสุด ของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟ เมื่อกำหนดระดับพูข้างเท่ากับ 26 dB.....	31
3.11 สัมประสิทธิ์การกระด้วนของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟ 10 อีลีเมนต์ ในรูปนอร์มอลไลซ์ที่ได้จากการพิจารณาแอมพลิจูดที่อยู่ตรงกลางอีลีเมนต์ เมื่อระดับพูข้างเท่ากับ 20 , 21.05 , 30 และ 40 dB.....	32
3.12 เปรียบเทียบคุณลักษณะของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล กลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟ และกลุ่มสายอากาศทรงรูป 10 อีลีเมนต์ ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$	36

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	สายอากาศขั้วคู่จัดเรียงกันเป็นกลุ่มสายอากาศ 4 อีลีเมนต์.....3
2.2	การจัดเรียงตัวของกลุ่มสายอากาศ 2 อีลีเมนต์ ที่ทอดตัวตามแนวแกน z.....4
2.3	กลุ่มสายอากาศไอโซทรอปิกแอมพลิจูดไม่คงรูป ที่มีอีลีเมนต์เป็นจำนวนคู่.....7
2.4	กลุ่มสายอากาศไอโซทรอปิกแอมพลิจูดไม่คงรูป ที่มีอีลีเมนต์เป็นจำนวนคี่.....8
2.5	โพลีโนเมียลเชบีเชฟลำดับที่ศูนย์ถึงห้า.....12
2.6	ขั้นตอนการหาสัมประสิทธิ์กระตุ้นสำหรับกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ.....14
3.1	กลุ่มสายอากาศไอโซทรอปิกแอมพลิจูดไม่คงรูป ที่มีอีลีเมนต์เป็นจำนวนคู่.....15
3.2	แบบรูปกำลังของตัวประกอบกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์ ที่มีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4, \lambda/2, 3\lambda/4$ และ λ16
3.3	สภาพเจาะงทศทางสำหรับกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์ ที่มีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4, \lambda/2, 3\lambda/4$ และ λ19
3.4	สภาพเจาะงทศทางสูงสุดเทียบกับระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ สำหรับกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์21
3.5	สภาพเจาะงทศทางสำหรับกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล ที่มีระยะห่างระหว่าง อีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$ และมีจำนวนอีลีเมนต์ เป็น 4, 6, 8 และ 10 อีลีเมนต์.....24
3.6	แบบรูปกำลังของตัวประกอบกลุ่มสายอากาศสำหรับกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ 10 อีลีเมนต์ที่มีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4, \lambda/2, 3\lambda/4$ และ λ25
3.7	สภาพเจาะงทศทางสำหรับกลุ่มสายอากาศ คอล์ฟ-เชบีเชฟ 10 อีลีเมนต์ และระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4, \lambda/2, 3\lambda/4$ และ λ28
3.8	สภาพเจาะงทศทางสูงสุดเทียบกับระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์สำหรับ กลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ 10 อีลีเมนต์30
3.9	การแผ่กระจายแอมพลิจูด ที่ระดับพูข้างต่างกัน สำหรับกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ 10 อีลีเมนต์ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4$33
3.10	สภาพเจาะงทศทางและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเทียบกับระดับพูข้างสำหรับ กลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ 10 อีลีเมนต์ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4$34
3.11	สภาพเจาะงทศทางของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล โดยมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$35

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.1	การแบ่งช่วงของการอินทรีเกรดแบบสี่เหลี่ยมคางหมู.....39
ข.1	แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระบบพิกัดฉาก.....40
ข.2	ตัวประกอบส่วนกว้างลำคลื่นของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟ.....42
ค.1	สภาพเจาะงทศทางของ กลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟเทียบกับความยาวสายอากาศ.....45
ค.2	การจัดเรียงสายอากาศชั่วคู่เป็นกลุ่มสายอากาศ.....46
จ.1	หน้าต่างหลักของโปรแกรมวิเคราะห์แบบรูปสภาพเจาะงทศทาง ของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียลและกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟ โดยใช้ GUI.....61
จ.2	หน้าต่างโปรแกรมวิเคราะห์แบบรูปสภาพเจาะงทศทาง ของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟ โดยใช้ GUI.....62
จ.3	แบบรูปสภาพเจาะงทศทางของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟ 10 อีลีเมนต์ กำหนดระดับพู ข้างเท่ากับ 26 dB ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในอดีตจนถึงยุคปัจจุบันการสื่อสารโทรคมนาคมได้มีความจำเป็นกับชีวิตมนุษย์เป็นอย่างมาก ทำให้วิวัฒนาการทางด้านการสื่อสารโทรคมนาคมได้มีการพัฒนาเรื่อยๆ และในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านการสื่อสารแบบไร้สายได้รับความนิยมมาก เช่น การสื่อสารในระบบเซลลูลาร์ และการรับส่งสัญญาณดาวเทียมเป็นต้น เนื่องจากความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อสื่อสาร ปัจจุบันได้มีการศึกษาและพัฒนาสายอากาศแบบต่างๆอยู่ตลอดเวลาเพื่อพัฒนาให้สายอากาศมีคุณสมบัติในการรับส่งสัญญาณที่ดีขึ้นเรื่อยๆ

โครงการฉบับนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศเส้นตรงระยะห่างคงรูปแอมพลิจูดไม่คงรูป ซึ่งก็คือกลุ่มสายอากาศเส้นตรงที่มีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากันทุกอีลีเมนต์แต่แอมพลิจูดที่กระตุ้นให้กับสายอากาศแต่ละอีลีเมนต์มีค่าต่างกัน กลุ่มสายอากาศเป็นการนำสายอากาศที่มีคุณสมบัติอยู่แล้วมาจัดเรียงกัน ซึ่งการนำสายอากาศมาจัดเรียงกันมีผลดีหลายประการ เช่น สภาพเงาเงาทางสูงขึ้น ความกว้างลำคลื่นแคบลง และสามารถสร้างขั้ววงจรถูกให้อำนาจให้ควบคุมเปลี่ยนทิศทางลำคลื่นได้ หรือย้ายตำแหน่งบอดคลื่น(null)ได้ โครงการนี้จึงได้ศึกษาคุณลักษณะของสายอากาศ โดยมุ่งเน้นไปที่กลุ่มสายอากาศไบโนเมียลกับกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ และสามารถประยุกต์กับการใช้งานจริงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาคุณลักษณะของกลุ่มสายอากาศเส้นตรงระยะห่างคงรูปและแอมพลิจูดไม่คงรูป
2. ศึกษาโครงสร้างของกลุ่มสายอากาศเส้นตรงระยะห่างคงรูปและแอมพลิจูดไม่คงรูป

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1. ศึกษาทฤษฎีขั้นพื้นฐานและวิเคราะห์คุณลักษณะของกลุ่มสายอากาศแบบไบโนเมียล และกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ
2. ศึกษาและพัฒนาโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศแบบไบโนเมียล และกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ
3. สรุปคุณสมบัติและคุณลักษณะของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียลและกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2550					
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1. ศึกษาหลักการพื้นฐานและวิเคราะห์คุณลักษณะของกลุ่มสายอากาศใบโนเมียลและกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-แบบเซปีเซฟ	←→					
2. ศึกษาและพัฒนาโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ในการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศแบบใบโนเมียลและ กลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซปีเซฟ			←→			
3. รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศ					←→	
4. สรุปคุณสมบัติและคุณลักษณะของกลุ่มสายอากาศใบโนเมียลและกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซปีเซฟ						←→

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจคุณสมบัติและคุณลักษณะของกลุ่มสายอากาศแบบใบโนเมียลและกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซปีเซฟ
2. สามารถนำความรู้ทางคณิตศาสตร์ มาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศได้
3. สามารถวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศเพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมกับการใช้งาน
4. ได้โปรแกรม MATLAB พร้อมการเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก สำหรับวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศใบโนเมียลและกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซปีเซฟ

1.6 งบประมาณของโครงการ

1. ค่าเอกสารในการค้นคว้าทำโครงการและค่าเช่าเล่มโครงการ 700 บาท
2. ค่าวัสดุคอมพิวเตอร์ 300 บาท

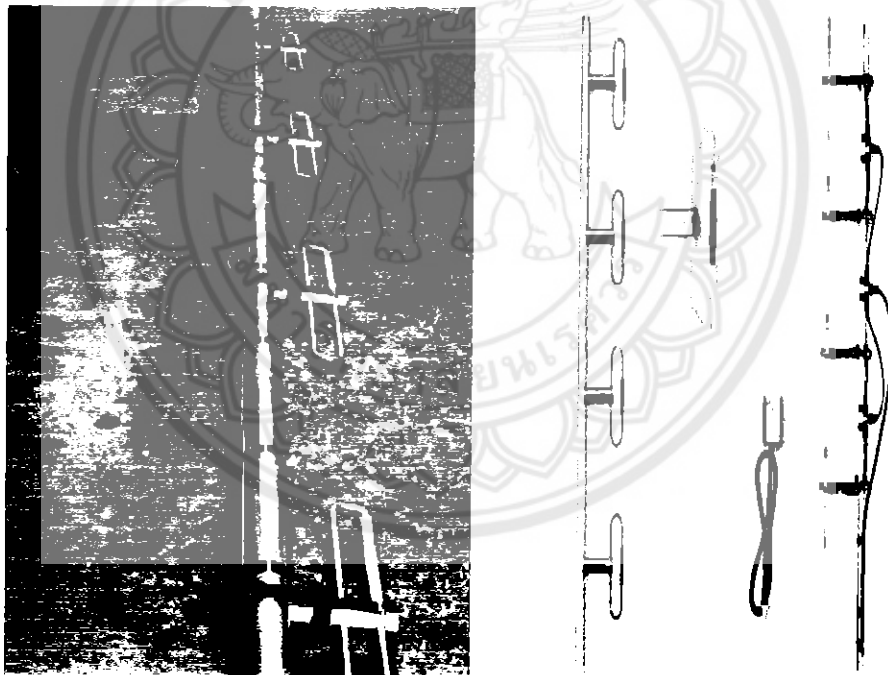
รวม (หนึ่งพันบาทถ้วน) 1,000 บาท

หมายเหตุ (ตัวเฉลี่ยทุกรายการ)

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานของกลุ่มสายอากาศ

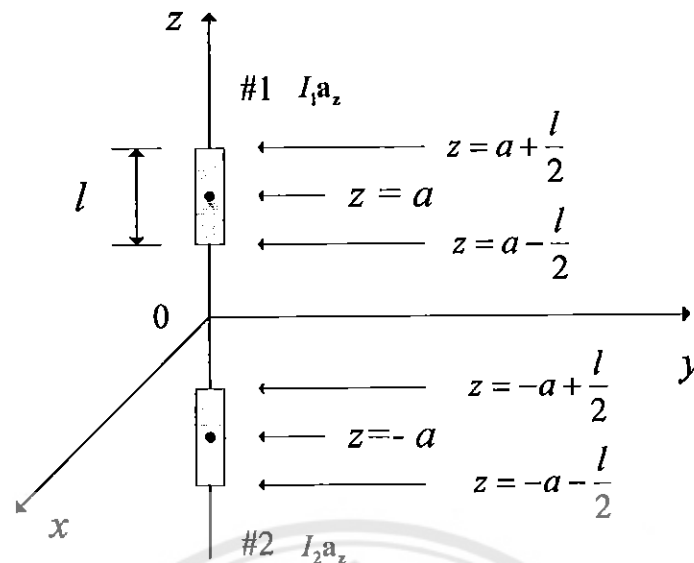
กลุ่มสายอากาศ หมายถึง สายอากาศที่ได้จากการจัดเรียงอีลีเมนต์ของการแผ่กระจายคลื่น (radiating element) ในลักษณะเชิงไฟฟ้า หรือ ลักษณะเชิงเรขาคณิต (geometrical) ยังผลให้สนามเสริมกัน (add) ในทิศทางหนึ่งๆ และเกิดการหักล้างกัน (cancel) ในทิศทางที่เหลือ ในรูปที่ 2.1 เป็นการนำสายอากาศขั้วคู่แบบพับ (folded dipole) 4 ตัวมาจัดเรียงเป็นกลุ่มสายอากาศ โดยสายอากาศแต่ละตัวจะได้รับการเรียกชื่อว่า อีลีเมนต์ กลุ่มสายอากาศดังรูปข้างล่างนี้จะมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากันและในแต่ละอีลีเมนต์จะถูกต่อเข้ากับสายนำสัญญาณเพื่อป้อนกระแสให้กับสายอากาศ ในส่วนถัดไปจะกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของกลุ่มสายอากาศ จากนั้นจะเป็นการศึกษาและวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศ ไบโนเมียลและกลุ่มสายอากาศคอลล์-เซบีเซฟ ในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 2.1 สายอากาศขั้วคู่จัดเรียงกันเป็นกลุ่มสายอากาศ 4 อีลีเมนต์

2.1 กลุ่มสายอากาศสองอีลีเมนต์ (Two-Element Array)

พิจารณาสายอากาศสองตัวดังแสดงในรูป 2.2 สายอากาศที่แสดงนี้ เป็นสายอากาศขั้วคู่ที่มีขนาดเล็กมาก (infinitesimal) และอยู่ ณ ตำแหน่ง $z = d/2$ และ $z = -d/2$ สายอากาศทั้งสองตัวนี้มีความยาวเท่ากับ l และทอดตัวตามแนวแกน z สายอากาศตัวที่หนึ่ง (#1) ได้รับการป้อนด้วยกระแสไฟฟ้า $I_1 \mathbf{a}_z$ สายอากาศตัวที่สอง (#2) ได้รับการป้อนด้วยกระแสไฟฟ้า $I_2 \mathbf{a}_z$



รูปที่ 2.2 การจัดเรียงตัวของกลุ่มสายอากาศขั้วคู่ 2 อีลิเมนต์ ที่ทอดตัวตามแนวแกน z

ค่าสนามไฟฟ้ารวม สามารถหาได้จาก ผลรวมของ สนามไฟฟ้าเนื่องจากสายอากาศตัวที่หนึ่ง (#1) และ สนามไฟฟ้าเนื่องจากสายอากาศ ตัวที่สอง (#2) ดังนี้ [1]

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 \quad (2.1ก)$$

$$\mathbf{E} = \left[\hat{\mathbf{a}}_{\theta} j\omega\mu l \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta \frac{\sin[(kl/2)\cos\theta]}{(kl/2)\cos\theta} \right] \left\{ I_1 e^{jka\cos\theta} + I_2 e^{-jka\cos\theta} \right\} \quad (2.1ข)$$

สนามไฟฟ้าที่ได้จากสายอากาศเพียงตัวเดียววางอยู่ ณ จุดกำเนิด (origin) และป้อนด้วยกระแส 1 A มีค่าเป็น

$$\mathbf{E}(\text{single}) = \hat{\mathbf{a}}_{\theta} j\omega\mu l \frac{e^{-jkr}}{4\pi r} \sin\theta \frac{\sin[(kl/2)\cos\theta]}{(kl/2)\cos\theta} \quad (2.2)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.1ข) จะพบว่าพจน์ในวงเล็บสี่เหลี่ยมก็คือ สนามไฟฟ้าตามสมการ (2.2) ส่วนพจน์ที่อยู่ภายในวงเล็บปีกกา จะขึ้นกับกระแสที่ป้อนให้กับสายอากาศและตำแหน่งของสายอากาศ พจน์นี้มีชื่อเรียกว่า “ตัวประกอบกลุ่มสายอากาศ (array factor)” สมการที่ (2.1ข) จึงสามารถพิจารณาได้ว่าเกิดจากผลคูณของพจน์สองพจน์ดังต่อไปนี้

$$\mathbf{E}(\text{total}) = [\mathbf{E}(\text{single element at origin with 1 A current})] \times [\text{array factor}] \quad (2.3)$$

2.2 กลุ่มสายอากาศเส้นตรงที่มีจำนวน N อีลีเมนต์ระยะห่างคงรูปและแอมพลิจูดไม่คงรูป

กลุ่มสายอากาศที่มีระยะห่างคงรูปและแอมพลิจูดไม่คงรูปคือ กลุ่มสายอากาศที่มีการวางตำแหน่งของสายอากาศแต่ละอีลีเมนต์ในระยะห่างเท่ากัน และแอมพลิจูดที่กระตุ้นให้กับสายอากาศในแต่ละอีลีเมนต์จะมีค่าต่างกัน

2.2.1 ตัวประกอบกลุ่มสายอากาศ (array factor)

พิจารณากลุ่มสายอากาศที่ประกอบด้วยสายอากาศแบบไอโซทรอปิกเป็นจำนวนคู่และมีจำนวนอีลีเมนต์เป็น $2M$ (M เป็นจำนวนเต็ม) วางตัวตามแนวแกน z ดังรูปที่ 2.3 สายอากาศไอโซทรอปิกจำนวน M ได้รับการวางแต่ละข้างของจุดกำเนิด กลุ่มสายอากาศนี้มีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เป็น d ตัวประกอบกลุ่มสายอากาศสำหรับแอมพลิจูดที่ไม่คงรูป (nonuniform) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$AF_{2M} = a_1 e^{+j(1/2)kd \cos \theta} + a_2 e^{+j(3/2)kd \cos \theta} + \dots + a_M e^{+j[(2M-1)/2]kd \cos \theta} \\ + a_1 e^{-j(1/2)kd \cos \theta} + a_2 e^{-j(3/2)kd \cos \theta} + \dots + a_M e^{-j[(2M-1)/2]kd \cos \theta} \quad (2.4ก)$$

$$(AF)_{2M} = 2 \sum_{n=1}^M a_n \cos \left[\frac{(2n-1)}{2} kd \cos \theta \right] \quad (2.4ข)$$

เมื่อเขียนให้อยู่ในรูป นอร์มอลไลซ์จะได้

$$(AF)_{2M} = \sum_{n=1}^M a_n \cos \left[\frac{(2n-1)}{2} kd \cos \theta \right] \quad (2.5)$$

เมื่อ a_n 's คือ สัมประสิทธิ์การกระตุ้นในแต่ละอีลีเมนต์ของกลุ่มสายอากาศซึ่งใช้แทนค่าของกระแสที่ป้อนให้กับสายอากาศในแต่ละอีลีเมนต์

ถ้าจำนวนทั้งหมดของอีลีเมนต์ไอโซทรอปิกของกลุ่มสายอากาศเป็นจำนวนคี่คือ $2M+1$ (M เป็นจำนวนเต็ม) ดังรูป 2.4 ตัวประกอบกลุ่มสายอากาศเขียนได้ดังนี้

$$(AF)_{2M+1} = 2a_1 + a_2 e^{+jkd \cos \theta} + a_3 e^{+j2kd \cos \theta} + \dots + a_{M+1} e^{+jMkd \cos \theta} \\ + a_2 e^{-jkd \cos \theta} + a_3 e^{-j2kd \cos \theta} + \dots + a_{M+1} e^{-jMkd \cos \theta} \quad (2.6ก)$$

$$(AF)_{2M+1} = 2 \sum_{n=1}^{M+1} a_n \cos[(n-1)kd \cos \theta] \quad (2.6ข)$$

เขียนในรูปนอร์มอลไลซ์ได้เป็น

$$(AF)_{2M+1} = \sum_{n=1}^{M+1} a_n \cos[(n-1)kd \cos \theta] \quad (2.7)$$

และจะได้แอมพลิจูดกระตุ้นของจุดศูนย์กลางอีลีเมนต์เป็น $2a_1$ จากสมการ (2.5) และ (2.7) สามารถเขียนได้ดังนี้

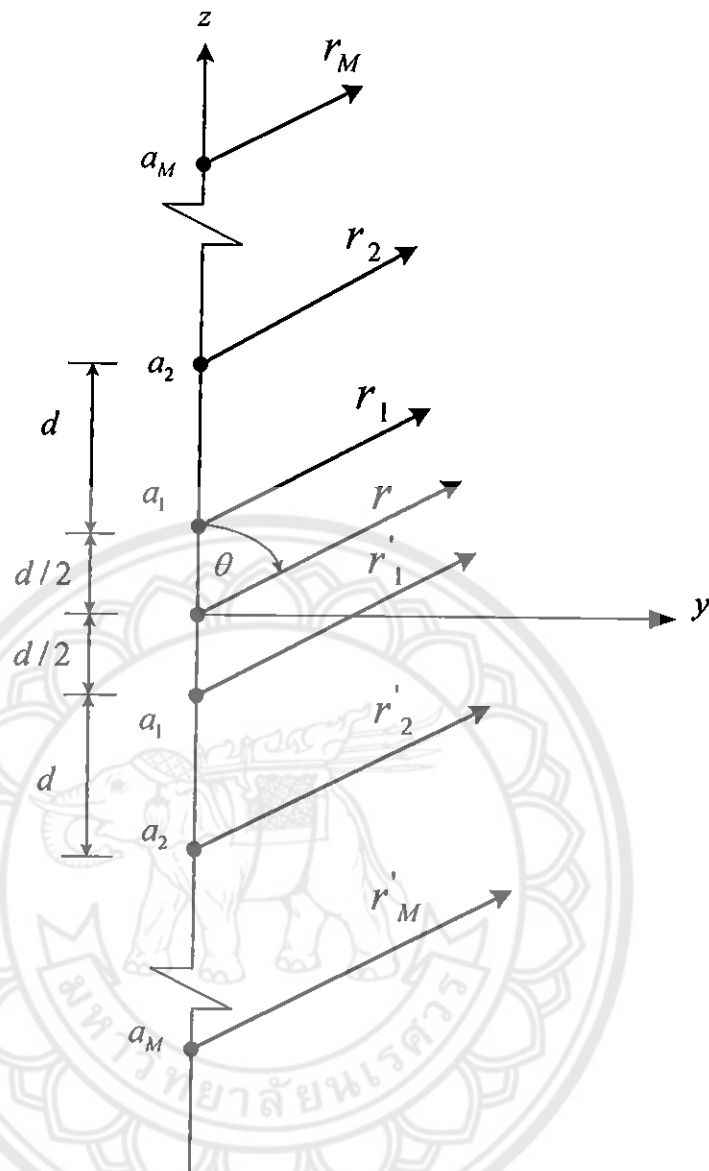
$$(AF)_{2M}(\text{even}) = \sum_{n=1}^M a_n \cos[(2n-1)u] \quad (2.8ก)$$

$$(AF)_{2M+1}(\text{odd}) = \sum_{n=1}^{M+1} a_n \cos[2(n-1)u] \quad (2.8ข)$$

เมื่อ

$$u = \frac{\pi d}{\lambda} \cos \theta \quad (2.8ค)$$





รูปที่ 2.3 กลุ่มสายอากาศไอโซทรอปิกแอมพลิจูดไม่คงรูป ที่มีอีลีเมนต์เป็นจำนวนคู่

2.4 กลุ่มสายอากาศดอล์ฟ-เชบีเชฟ (Dolph-Tschebyscheff array)

กลุ่มสายอากาศที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางอีกตัวหนึ่งก็คือ กลุ่มสายอากาศดอล์ฟ-เชบีเชฟ สายอากาศชนิดนี้ได้รับการเสนอขึ้นครั้งแรกโดยดอล์ฟ (Dolph) [3] วิธีนี้เป็นพื้นฐานการประมาณแบบรูปของกลุ่มสายอากาศโดยใช้โพลิโนเมียลเชบีเชฟ ลำดับที่ m กลุ่มสายอากาศดอล์ฟ-เชบีเชฟจะมีรูปร่างที่ต่ำมาก และมีคุณลักษณะที่อยู่ระหว่างกลุ่มสายอากาศทรงรูปกับกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล

2.4.1 โพลิโนเมียลเชบีเชฟ

พิจารณาสมการที่ (2.8ก) และ (2.8ข) เพื่อที่จะให้สัมประสิทธิ์ของกลุ่มสายอากาศเป็นไปตามโพลิโนเมียลเชบีเชฟ จะเขียนพจน์ของโคไซน์ (cosine) ให้อยู่ในรูปความถี่มูลฐาน ดังนั้นสามารถกระจายอนุกรมโคไซน์ได้เป็น

$$\begin{aligned}
 m=0 \quad \cos(mu) &= 1 \\
 m=1 \quad \cos(mu) &= \cos u \\
 m=2 \quad \cos(mu) &= \cos(2u) = 2\cos^2 u - 1 \\
 m=3 \quad \cos(mu) &= \cos(3u) = 4\cos^3 u - 3\cos u \\
 m=4 \quad \cos(mu) &= \cos(4u) = 8\cos^4 u - 8\cos^2 u + 1 \\
 m=5 \quad \cos(mu) &= \cos(5u) = 16\cos^5 u - 20\cos^3 u + 5\cos u \\
 m=6 \quad \cos(mu) &= \cos(6u) = 32\cos^6 u - 48\cos^4 u + 18\cos^2 u - 1 \\
 m=7 \quad \cos(mu) &= \cos(7u) = 64\cos^7 u - 112\cos^5 u + 56\cos^3 u - 7\cos u \\
 m=8 \quad \cos(mu) &= \cos(8u) = 128\cos^8 u - 256\cos^6 u + 160\cos^4 u - 32\cos^2 u + 1 \\
 m=9 \quad \cos(mu) &= \cos(9u) = 256\cos^9 u - 576\cos^7 u + 432\cos^5 u - 120\cos^3 u + 9\cos u
 \end{aligned} \tag{2.11}$$

สมการที่ (2.11) หาได้โดยความสัมพันธ์ดังนี้

$$\begin{aligned}
 m=k \quad \cos(ku) &= \cos^k(u) - \binom{k}{2}\cos^{k-2}(u)\sin^2(u) + \binom{k}{4}\cos^{k-4}(u)\sin^4(u) - \dots \\
 &\quad - \binom{k}{k-2}\cos^2(u)\sin^{k-2}(u) + \sin^k(u)
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

เมื่อ

$$\binom{k}{n} = \frac{k!}{n!(k-n)!}$$

และโพลิโนเมียลในสมการที่ (2.11) ได้มาโดยใช้สูตรของ ออยเลอร์ (Euler's formula)

$$\left[e^{ju} \right]^m = (\cos u + j \sin u)^m = e^{jmu} = \cos(mu) + j \sin(mu) \quad (2.13)$$

พร้อมกับอาศัยเอกลักษณ์ตรีโกณมิติ

$$\cos(2u) = 2\cos^2(u) - 1 \quad (2.14)$$

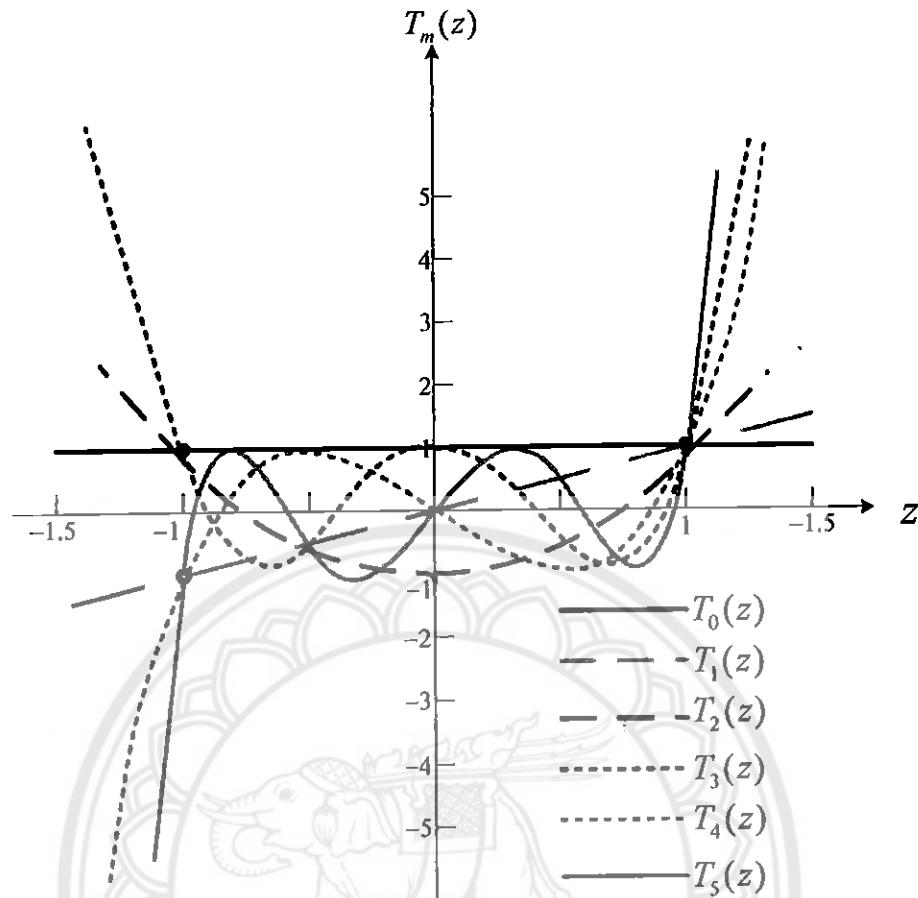
คอลฟ์ได้เสนอโพลิโนเมียลเชบีเชฟซึ่งเขียนด้วย $T_m(z)$ ไว้ดังนี้

$$\begin{aligned} m=0 \quad T_0(z) &= 1 \\ m=1 \quad T_1(z) &= z \\ m=2 \quad T_2(z) &= 2z^2 - 1 \\ m=3 \quad T_3(z) &= 4z^3 - 3z \\ m=4 \quad T_4(z) &= 8z^4 - 8z^2 + 1 \\ m=5 \quad T_5(z) &= 16z^5 - 20z^3 + 5z \\ m=6 \quad T_6(z) &= 32z^6 - 48z^4 + 18z^2 - 1 \\ m=7 \quad T_7(z) &= 64z^7 - 112z^5 + 56z^3 - 7z \\ m=8 \quad T_8(z) &= 128z^8 - 256z^6 + 160z^4 - 32z^2 + 1 \\ m=9 \quad T_9(z) &= 256z^9 - 576z^7 + 432z^5 - 120z^3 + 9z \end{aligned} \quad (2.15)$$

คุณสมบัติของ โพลิโนเมียลเชบีเชฟตามสมการที่ (2.15) ดังนี้

1. โพลิโนเมียลทั้งหมดที่ลำดับ m ใดๆ จะผ่านที่จุด $(1,1)$
2. ภายในย่าน $-1 \leq z \leq +1$ โพลิโนเมียลจะมีค่า อยู่ภายใน -1 ถึง 1 ซึ่งค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 1 และ -1 ตามลำดับ
3. โพลิโนเมียลที่อยู่ในช่วง $|z| > 1$ จะมีค่าสูงมาก

จากคุณสมบัติของ โพลิโนเมียลเชบีเชฟจะเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โพลีโนเมียลเชบีเชฟลำดับที่ศูนย์ถึงห้า

แบบรูปการแผ่พลังงานสามารถหาได้จากการบังคับให้ตัวประกอบกลุ่มสายอากาศในสมการ (2.8ก) และ (2.8ข) พร้อมด้วย (2.11) มีค่าเท่ากับโพลีโนเมียลเชบีเชฟในสมการ (2.15) โดยให้ $z = \cos(u)$, $u = \pi d \cos \theta / \lambda$ เนื่องจาก ขนาดของฟังก์ชันโคไซน์มีค่าไม่เกิน 1 (นั่นคือ ขนาดของ z ต้องไม่เกิน 1 ด้วย) ฉะนั้นแบบรูปการแผ่พลังงานที่ได้จะสอดคล้องกับช่วง $-1 \leq z \leq +1$ เท่านั้น ซึ่งในย่านนี้จะเห็นว่าแบบรูปมียอดของพูในระดับที่เท่าๆกัน (มีค่าเป็น 1) และไม่มีพูหลักเกิดขึ้น

เพื่อที่จะให้เกิดพูหลักจำเป็นต้องขยายขอบเขตของค่า z ใหม่ ซึ่งทำได้โดยการกำหนดให้ z มีค่าสูงสุดเป็น z_0 และค่าต่ำสุดเป็น $-z_0$ หรือ $-z_0 \leq z \leq z_0$, $z_0 > 1$ ที่ตำแหน่ง $z = z_0$, $T_m(z_0)$ จะมีค่าสูงสุด และมีค่ามากกว่า 1 ส่งผลให้เกิดพูหลักขึ้นโดยมีขนาดของยอดพูเท่ากับ $T_m(z_0)$ ขนาดของยอดพูรองมีค่าเท่ากับ 1

แบบรูปการแผ่พลังงานก็สามารถหาได้ดังวิธีที่กล่าวมาก็คือ การบังคับให้ตัวประกอบกลุ่มสายอากาศมีค่าเท่ากับโพลีโนเมียลเชบีเชฟ แต่ในกรณีนี้ $-z_0 < z \leq z_0$ การบังคับให้ $\cos(u) = z$ โดยที่ u ยังคงเป็นค่าจริงไม่สามารถทำได้ ฉะนั้นจึงต้องนอร์มอลไลซ์ z ดังนี้

$$\bar{z} = z/z_0$$

สมการก่อนหน้าจะให้ $-1 \leq \bar{z} \leq 1$ เมื่อ $-z_0 \leq z \leq z_0$ จากนั้น จะให้พจน์โคไซน์ในตัวประกอบกลุ่มสายอากาศมีค่าเท่ากับรูปนอร์มอลไลซ์ หรือ

$$\cos(u) = \bar{z} = \frac{z}{z_0} \quad (2.16)$$

ระดับพหุข้างสามารถหาได้จากการนำค่าของยอดพูหลัก หาค่าด้วย ค่าของยอดพูรอง หรือ

$$SLL(dB) = 20 \log \frac{T_m(z_0)}{1} \quad (2.17ก)$$

และในรูปไม่มีหน่วย

$$R_0 = 10^{SLL/20} \quad (2.17ข)$$

2.4.2 สัมประสิทธิ์กระตุ้นของกลุ่มสายอากาศคอสฟ-เซบีเชฟ

ขั้นตอนการหาสัมประสิทธิ์กระตุ้นของกลุ่มสายอากาศคอสฟ-เซบีเชฟมีดังนี้

1. เลือกใช้สมการหาค่าตัวประกอบกลุ่มสายอากาศโดยพิจารณาจากอีลีเมนต์ที่เป็นจำนวนคู่หรือเป็นจำนวนคี่
2. กระจายตัวประกอบกลุ่มสายอากาศ แทนค่าในแต่ละฟังก์ชันของ $\cos(mu)$ โดยที่ $m = 0, 1, 2, \dots$ ($m = 0, 1, 2, \dots$) โดยกระจายอนุกรมในสมการ (2.11)
3. หาค่า z_0 ที่ทำให้ยอดคของพูหลักเท่ากับระดับพหุข้างที่ต้องการดังสมการต่อไปนี้

$$T_{N-1}(z_0) = R_0(\text{voltage ratio}) = \cosh[(N-1) \times \cosh^{-1}(z_0)] \quad (2.18ก)$$

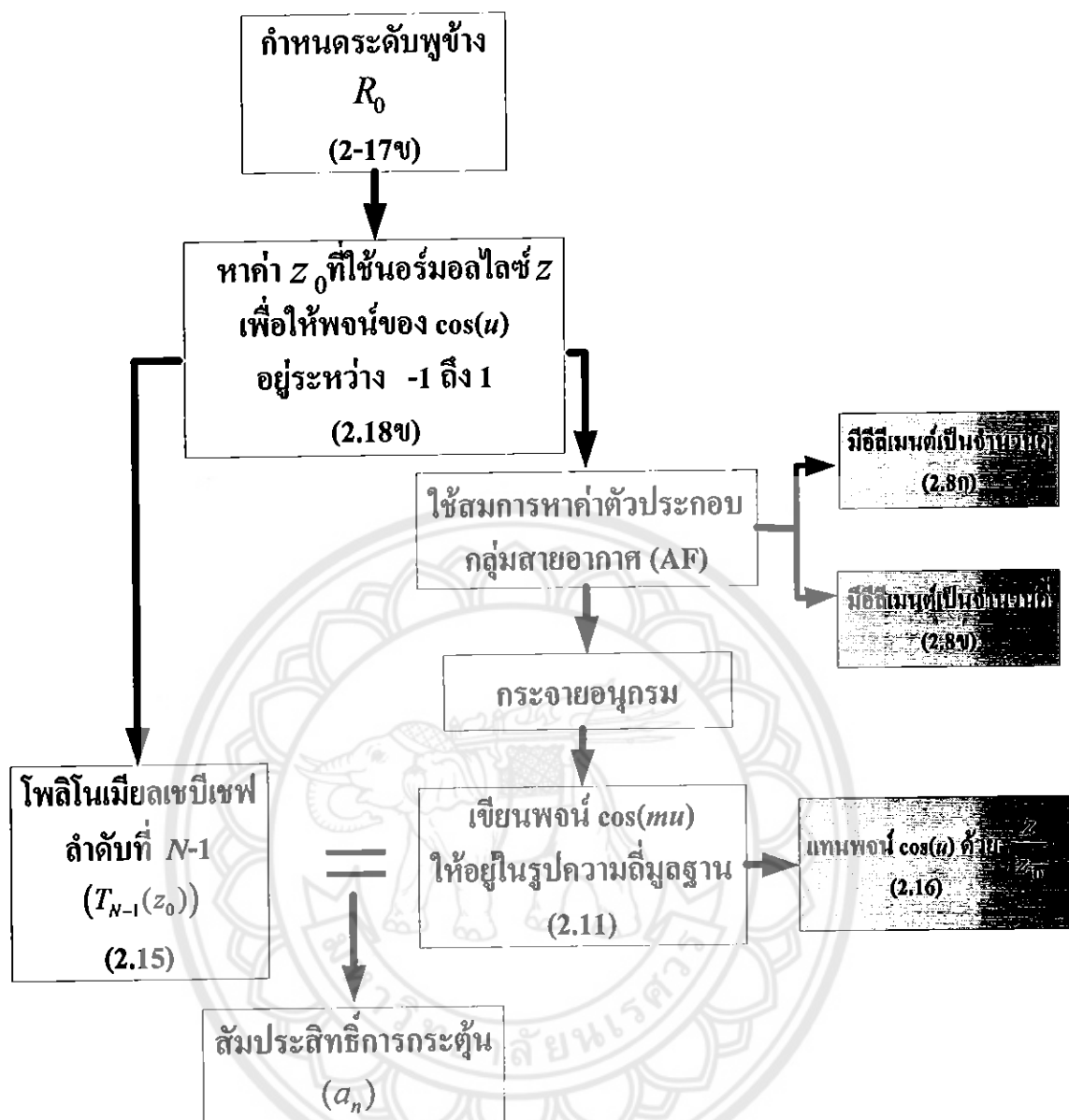
$$z_0 = \cosh\left[\frac{1}{N-1} \cosh^{-1}(R_0)\right] \quad (2.18ข)$$

$N =$ จำนวนอีลีเมนต์

4. แทน $\cos(u) = \frac{z}{z_0}$ ในตัวประกอบกลุ่มสายอากาศในขั้นตอนที่ 2

5. บังคับให้ตัวประกอบกลุ่มสายอากาศในขั้นตอนที่ 2 มีค่าเท่ากับ $T_{N-1}(z)$ ในสมการ (2.15) และหาสัมประสิทธิ์กระตุ้นอีลีเมนต์ ในแต่ละ โพลีโนเมียล ของ z

ขั้นตอนการหาสัมประสิทธิ์การกระตุ้นสามารถเขียนเป็นภาพได้ดังรูปที่ 2.6



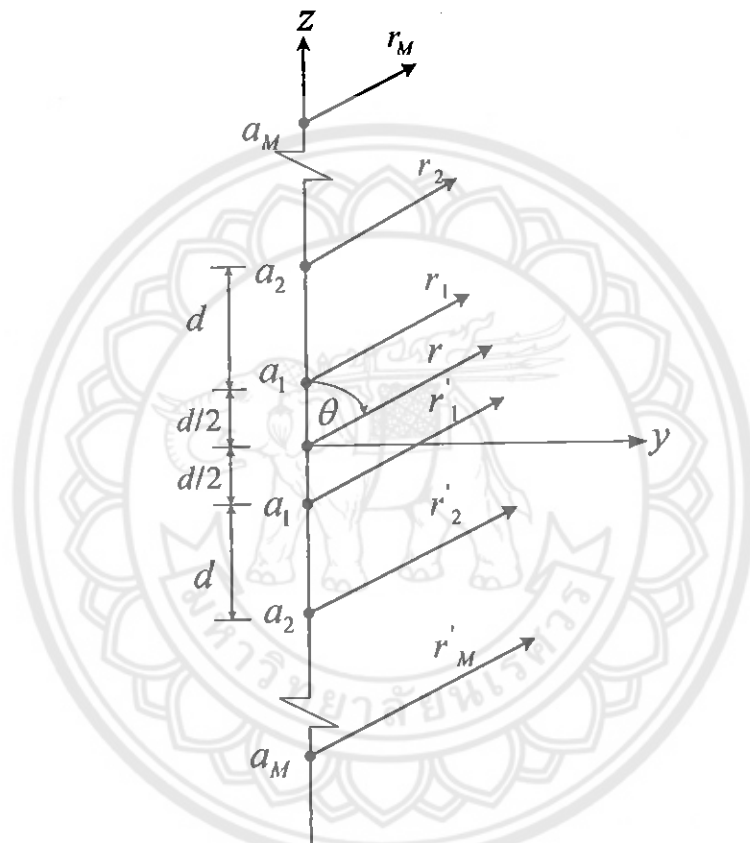
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการหาสัมประสิทธิ์กระตุ้นสำหรับกลุ่มสายอากาศคอลฟ์-เชบีเชฟ

บทที่ 3

ผลการวิเคราะห์หักกลุ่มสายอากาศ

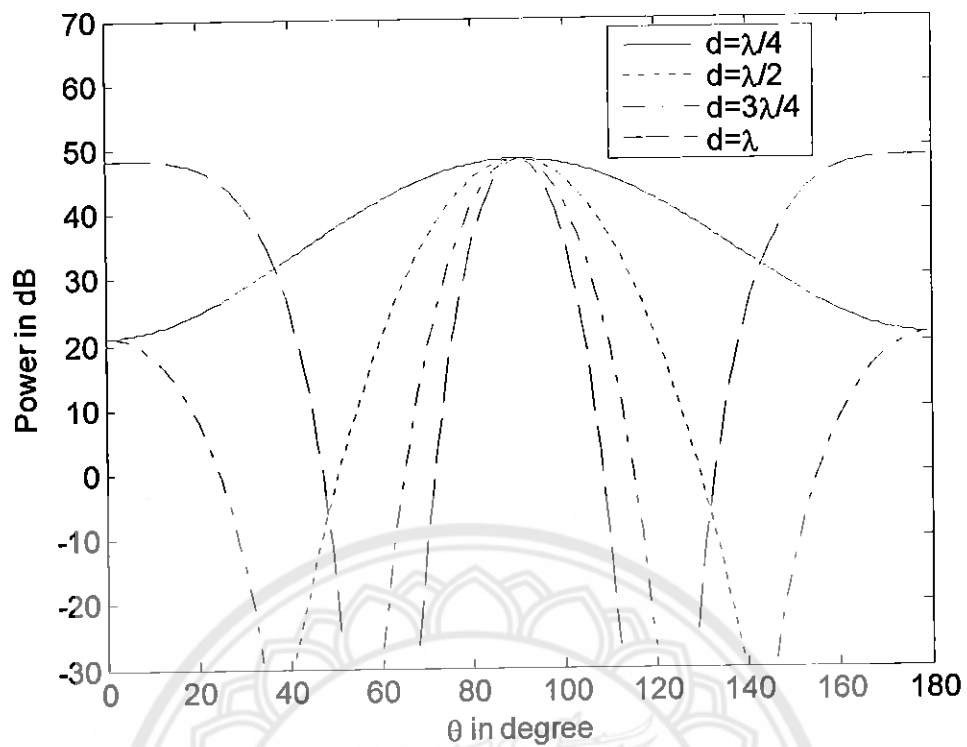
3.1 ผลการวิเคราะห์หักกลุ่มสายอากาศไบนอมิเยล

พิจารณาหักกลุ่มสายอากาศไอโซทรอปิกที่ประกอบด้วยสายอากาศ 10 อีลีเมนต์ซึ่งมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ d ดังแสดงในรูปที่ 3.1

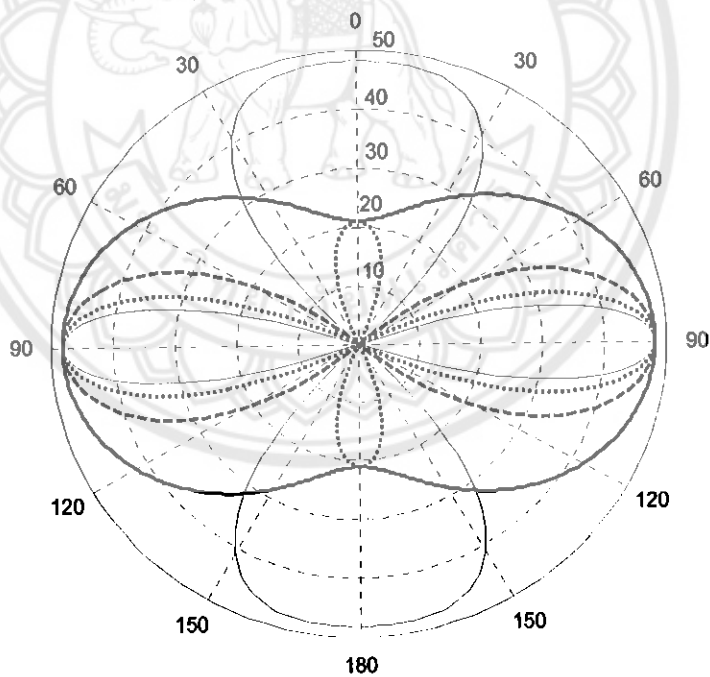


รูปที่ 3.1 กลุ่มสายอากาศไอโซทรอปิกแอมพลิจูดไม่คงรูป ที่มีอีลีเมนต์เป็นจำนวนคู่

เนื่องจากหักกลุ่มสายอากาศที่จะพิจารณานี้มีจำนวนอีลีเมนต์เป็นจำนวนคู่ ดังนั้นตัวประกอบหักกลุ่มสายอากาศสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการ (2.8ก) และ (2.8ค) และสัมประสิทธิ์การกระตุ้น (a_n) สามารถหาได้จากการกระจายอนุกรมไบนอมิเยลในรูปของสามเหลี่ยมปาสคาลดังสมการที่ (2.10) ซึ่งเมื่อจำนวนอีลีเมนต์เท่ากับ 10 แล้วจะได้สัมประสิทธิ์การกระตุ้นหักกลุ่มสายอากาศดังนี้ $a_1 = 126$, $a_2 = 84$, $a_3 = 36$, $a_4 = 9$ และ $a_5 = 1$ เมื่อหาค่าตัวประกอบหักกลุ่มสายอากาศจากสมการ (2.8ก) และ (2.8ค) ด้วยการใช้โปรแกรม MATLAB ที่แสดงไว้ในภาคผนวก (ง) จะได้แบบรูปกำลังของตัวประกอบหักกลุ่มสายอากาศไบนอมิเยลเมื่อระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4$, $\lambda/2$, $3\lambda/4$ และ λ ดังรูปที่ 3.2



(ก) กราฟในระบบพิกัดฉาก



(ข) กราฟในระบบพิกัดเชิงขั้ว

- $d = \lambda/4$
 - - - - - $d = \lambda/2$
 $d = 3\lambda/4$
 ————— $d = \lambda$

รูปที่ 3.2 แบบรูปกำลังของตัวประกอบกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์ ($N=10$)
 ที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4$, $\lambda/2$, $3\lambda/4$ และ λ

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นว่าที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4, \lambda/2, 3\lambda/4$ และ λ แบบรูปกำลังของตัวประกอบกลุ่มสายอากาศไบโนเมียลจะมีจุดยอดของพูหลักสูงเท่ากัน และที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4, \lambda/2$ และ λ จะไม่มีพูข้างเกิดขึ้น ซึ่งที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ λ จะมีพูหลักเกิดขึ้นสองพู ในขณะที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $3\lambda/4$ จะมีพูข้างเกิดขึ้น

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) ของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล สามารถหาได้จากการพิจารณาแบบรูปของตัวประกอบกลุ่มสายอากาศดังรูปที่ 3.2 ซึ่งการหาค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังคือการหามุมที่เกิดขึ้นในระหว่างตำแหน่งที่กำลังคลื่นลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุด (-3dB) และในข้อนี้ก็คือมุมที่เกิดขึ้นระหว่างจุด -3dB ของการแพร่กระจายสูงสุดของตัวประกอบกลุ่มสายอากาศ ซึ่งนำไปตามสมการ (ข.1) ในภาคผนวก (ข) และวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB ที่แสดงไว้ในภาคผนวก (ง) จะได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์ โดยมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ d

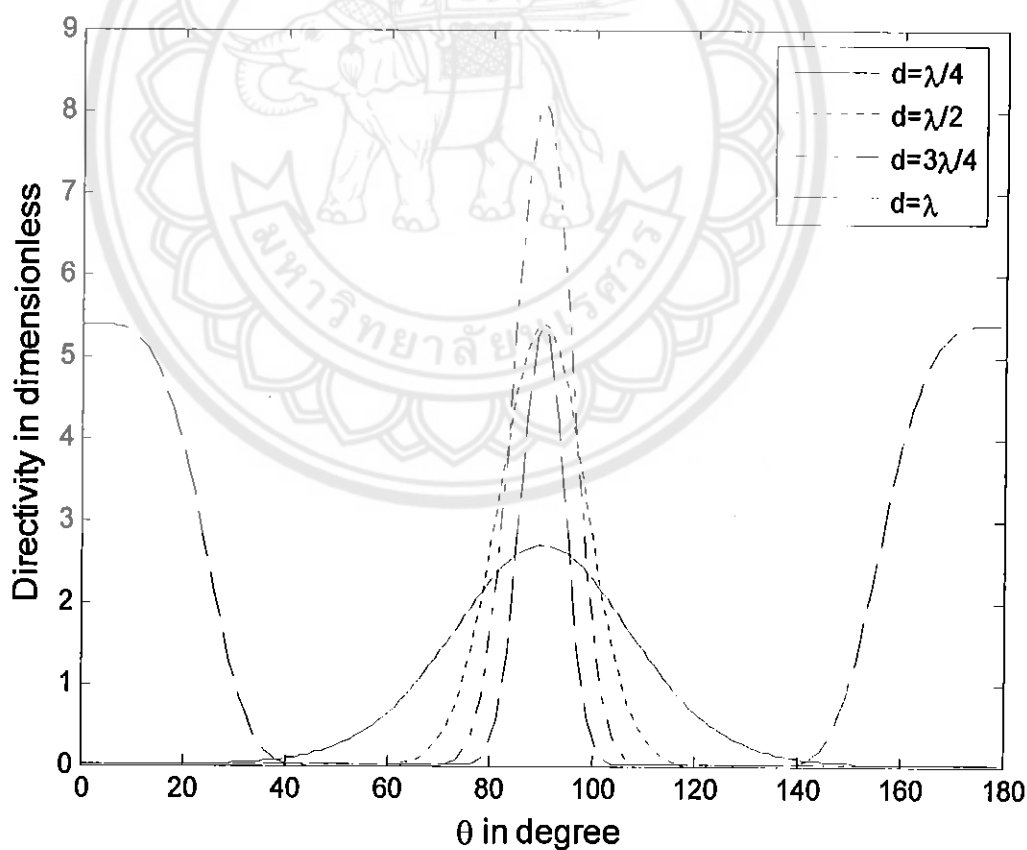
ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ (d)	ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW in degree)
$\lambda/4$	41.11
$3\lambda/8$	27.07
$\lambda/2$	20.22
$3\lambda/4$	13.43
λ	10.07
$5\lambda/4$	8.05
$3\lambda/2$	6.69
$7\lambda/4$	5.73
2λ	4.99

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้เมื่อระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เพิ่มมากขึ้นความกว้างลำคลื่นของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียลจะมีค่าลดลงแปรผกผันกัน เมื่อเปรียบเทียบค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$ ที่วิเคราะห์ได้จากสมการ (ข.1) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ดังตารางที่ 3.1 กับวิธีที่เสนอไว้โดย Ricardi [4] ตามสมการ (ข.2) จะเห็นว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ได้จะมีความสอดคล้องกันดังตารางที่ 3.2

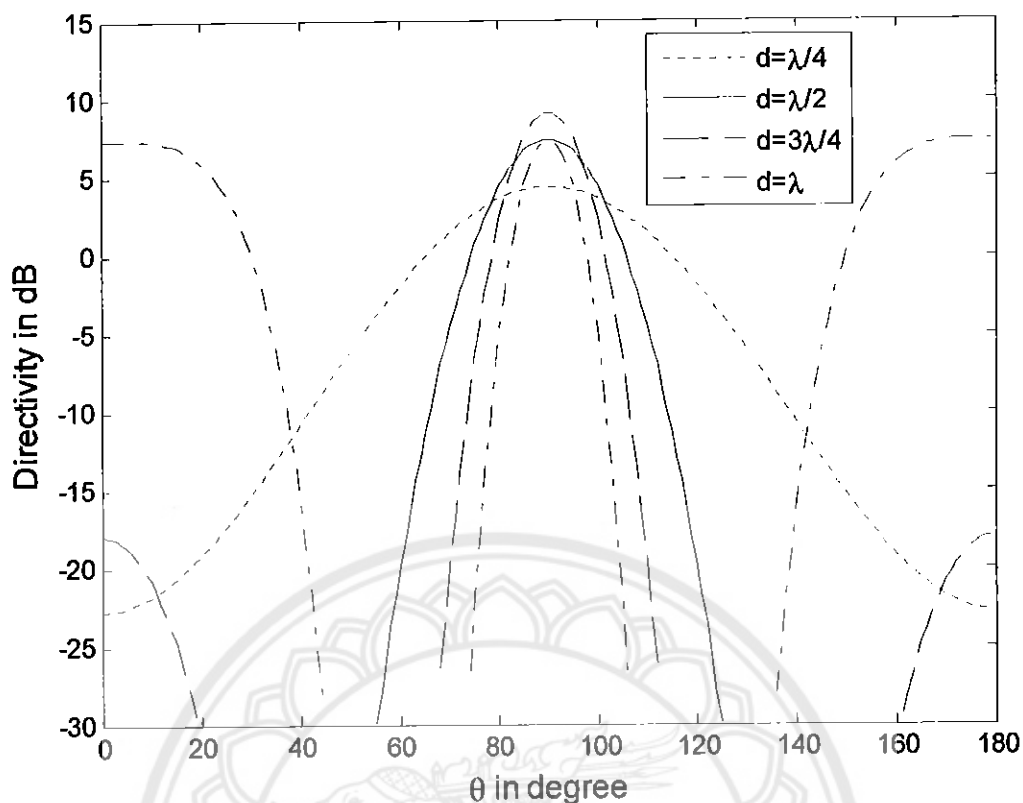
ตารางที่ 3.2 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศไบนารี 10 อีลีเมนต์
และมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศไบนารี (องศา)	
วิธีของ Ricardi ตามสมการ (ข.2)	วิธีที่ใช้ MATLAB หาจากสมการ (ข.1)
20.23	20.22

สภาพเงาเงทิสทางสามารถหาได้จากการพิจารณาตัวประกอบกลุ่มสายอากาศที่ได้ก่อนหน้านี้
และวิเคราะห์จากสมการ (ค.7) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ที่แสดงในภาคผนวก (ง) แบบรูปสภาพ
เงาเงทิสทางที่ได้ แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 และสภาพเงาเงทิสทางสูงสุดแสดงดังตารางที่ 3.3



(ก) สภาพเงาเงทิสทางในรูปไม่หน่วย



(ข) สภาพเจาะจงทิศทางในรูปเดซิเบล (dB)

รูปที่ 3.3 สภาพเจาะจงทิศทางสำหรับกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์ ($N=10$)
ที่มีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4, \lambda/2, 3\lambda/4$ และ λ

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าแบบรูปสภาพเจาะจงทิศทางของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์ ที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $3\lambda/4$ จะมีจุดยอดสูงสุดและมีพูข้างเกิดขึ้นด้วย ส่วนที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4$ จะมีจุดยอดต่ำสุดและไม่มีพูข้างเกิดขึ้น และที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ เท่ากับ $\lambda/2$ กับ λ จะมีจุดยอดสูงเท่ากัน ซึ่งที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ λ จะมีพูหลักเกิดขึ้นสองพูและไม่มีพูข้าง สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์ แสดงได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์ตามวิธี
ที่เสนอในสมการ (ก.7) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในภาคผนวก (ง)

ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ (d)	สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด(dB)
$\lambda/4$	4.31
$3\lambda/8$	6.06
$\lambda/2$	7.32
$3\lambda/4$	9.07

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) สภาพเจาะงทิสทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์ตามวิธี
ที่เสนอในสมการ (ค.7) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในภาคผนวก (ง)

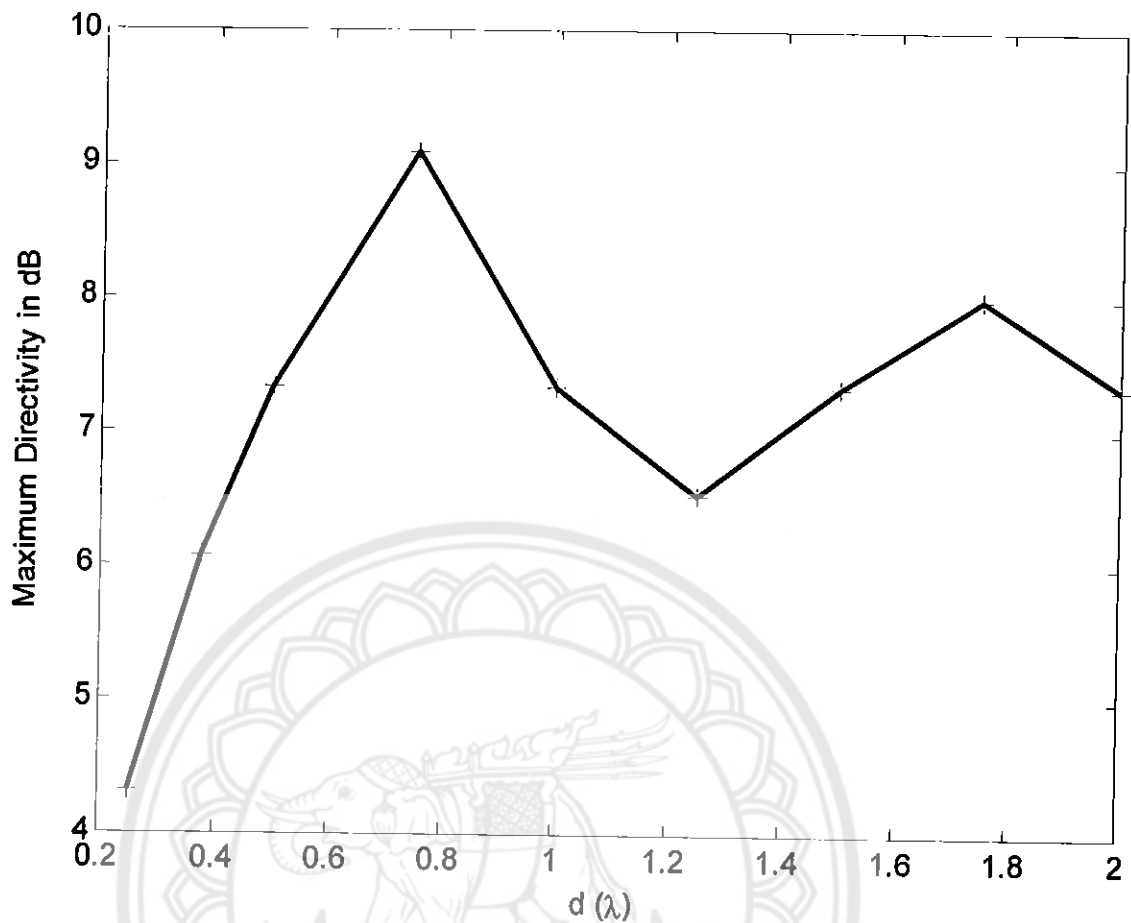
ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ (d)	สภาพเจาะงทิสทางสูงสุด(dB)
λ	7.32
$5\lambda/4$	6.53
$3\lambda/2$	7.32
$7\lambda/4$	7.98
2λ	7.32

เมื่อเปรียบเทียบสภาพเจาะงทิสทางสูงสุดระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$ ที่วิเคราะห์ได้จาก
สมการ (ค.7) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ดังตารางที่ 3.3 กับวิธีที่เสนอไว้โดย Ricardi [4] ตามสมการ
(ค.9) และ (ค.10) จะเห็นว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังที่ได้จะมีความสอดคล้องกันดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สภาพเจาะงทิสทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อีลีเมนต์
และมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$

สภาพเจาะงทิสทางสูงสุด ของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล (dB)		
วิธีของ Ricardi ตามสมการ (ค.9)	วิธีของ Ricardi ตามสมการ(ค.10)	วิธีที่เสนอตามสมการ (ค.7)โดยใช้โปรแกรม MATLAB
7.32	7.48	7.32

จากตารางที่ 3.3 สามารถเขียนกราฟของสภาพเจาะงทิสทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10
อีลีเมนต์ เทียบกับระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ ได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด ($D_{\max}$) เทียบกับระยะห่างระหว่างอิลีเมนต์ สำหรับกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อิลีเมนต์ ($N = 10$)

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าที่ระยะห่างระหว่างอิลีเมนต์ตั้งแต่ 0.25λ ขึ้นไปจนถึงระยะห่างระหว่างอิลีเมนต์เท่ากับ 0.75λ สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียลจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ที่ระยะห่างระหว่างอิลีเมนต์มากกว่า 0.75λ จนถึง 1.25λ สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดจะมีค่าลดลงตามลำดับ และสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดจะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยที่ระยะห่างระหว่างอิลีเมนต์มากกว่า 1.25λ จนถึง 1.75λ จากนั้นจะลดลงอีกที่ระยะห่างระหว่างอิลีเมนต์มากกว่า 1.75λ ซึ่งระยะห่างระหว่างอิลีเมนต์ตั้งแต่ 0.5λ และเพิ่มขึ้นทุกๆ 0.5λ มีสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากันคือ 7.32 dB

เมื่อพิจารณาร่วมกันระหว่างความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด และการปรากฏของพูข้างของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล 10 อิลีเมนต์จะแสดงได้ดังตารางที่ 3.5

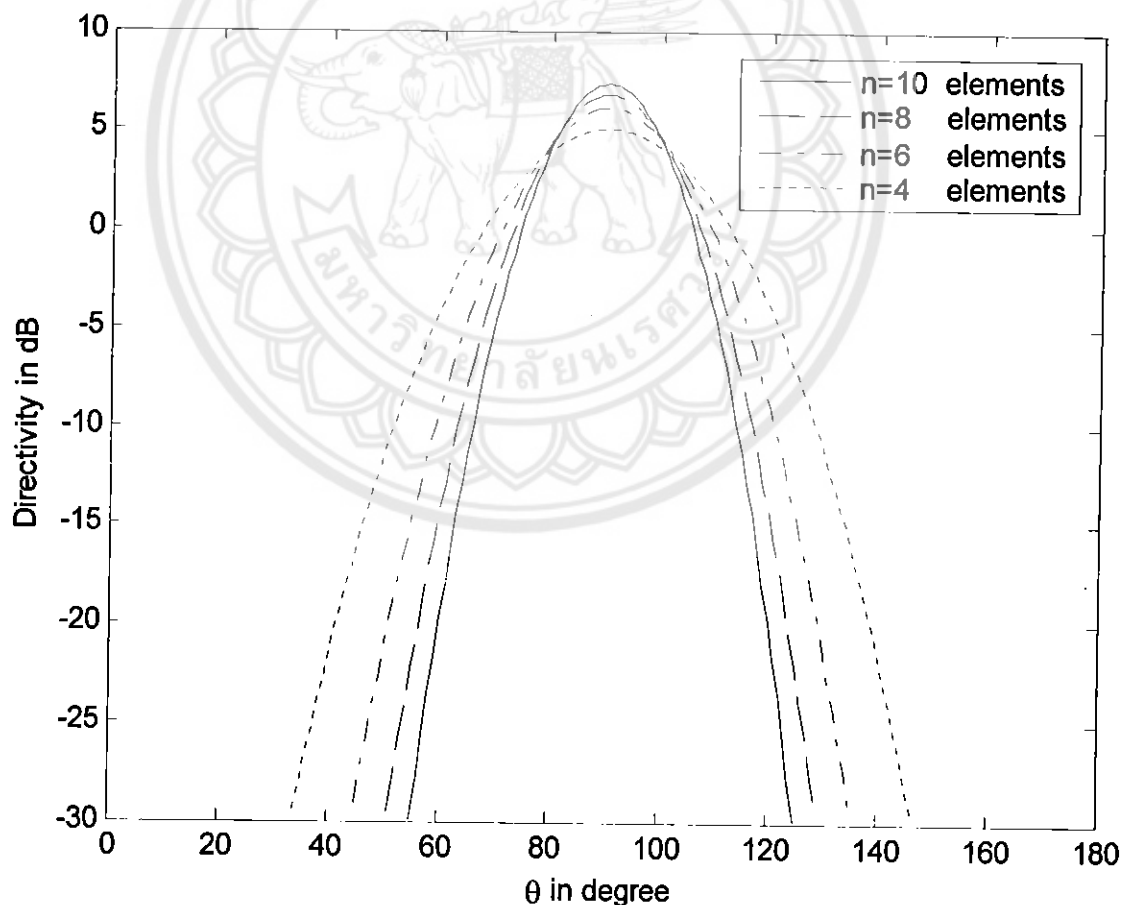
ตารางที่ 3.5 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังและสภาพเจาะงทศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศ
ไบโนเมียลตามวิธีที่เสนอในสมการ (ข.1) และ (ค.7) โดยใช้โปรแกรม MATLAB

ระยะห่างระหว่าง อีลีเมนต์ (d)	ความกว้างลำคลื่น ครึ่งกำลัง (HPBW in degree)	สภาพเจาะงทศทาง สูงสุด (dB)	การปรากฏของพูและ ระดับของพูข้าง (SLL in dB)
$\lambda/4$	41.11	4.31	มีพูหลักพูเดียว และไม่มีพูข้าง
$3\lambda/8$	27.07	6.06	มีพูหลักพูเดียว และไม่มีพูข้าง
$\lambda/2$	20.22	7.32	มีพูหลักพูเดียว และไม่มีพูข้าง
$3\lambda/4$	13.43	9.07	มีพูหลักพูเดียว และมีพูข้าง $SLL = -27$
λ	10.07	7.32	มีพูหลักสามพู และไม่มีพูข้าง
$5\lambda/4$	8.05	6.53	มีพูหลักสามพู และไม่มีพูข้าง
$3\lambda/2$	6.69	7.32	มีพูหลักสามพู และไม่มีพูข้าง
$7\lambda/4$	5.73	7.98	มีพูหลักสามพู และไม่มีพูข้าง
2λ	4.99	7.32	มีพูหลักห้าพู และไม่มีพูข้าง

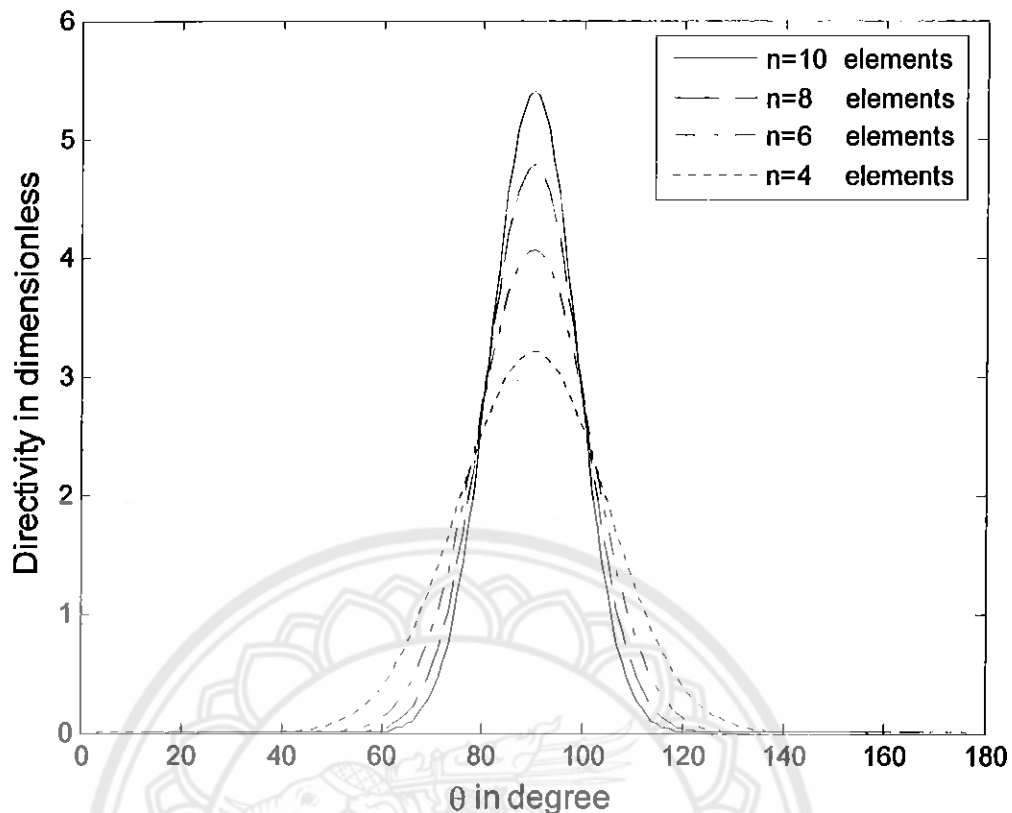
จากตารางที่ 3.5 พิจารณาช่วงระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4$ จนถึง $3\lambda/4$ จะเห็นได้ว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียลจะมีค่าลดลงตามลำดับ และสภาพเจาะงทศทางสูงสุดก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับด้วยเช่นกัน การปรากฏของพูพลังงานในช่วงนี้จะมีพูหลักเพียงพูเดียวและไม่มีพูข้าง ยกเว้นที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ $3\lambda/4$ จะมีพูข้างเกิดขึ้นซึ่งวัดระดับพูข้าง (SLL) ได้เท่ากับ 27 dB และเมื่อพิจารณาช่วงระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ที่มากกว่า $3\lambda/4$ ถึง $5\lambda/4$ ในช่วงนี้ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าลดลงตามลำดับและสภาพเจาะงทศทางสูงสุดก็มีค่าลดลงด้วยเช่นกัน

การปรากฏของพหุพลังงานในช่วงนี้จะมีพหุหลักเกิดขึ้นสามพหุและไม่มีพหุข้างเกิดขึ้น พิจารณาระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ที่มากกว่า $5\lambda/4$ จนถึง $7\lambda/4$ ในช่วงนี้ความกว้างลำคลื่นครั้งกำลังจะมีค่าลดลงตามลำดับ แต่สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น การปรากฏของพหุพลังงานในช่วงนี้จะมีพหุหลักเกิดขึ้นสามพหุและไม่มีพหุข้างเกิดขึ้น ส่วนช่วงระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ที่มากกว่า $7\lambda/4$ จนถึง 2λ ช่วงนี้ความกว้างลำคลื่นครั้งกำลังจะมีค่าลดลงและสภาพเจาะจงทิศทางก็มีค่าลดลงอีกเล็กน้อย การปรากฏของพหุพลังงานในช่วงนี้จะมีพหุหลักเกิดขึ้นห้าพหุและไม่มีพหุข้างเกิดขึ้น ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ตั้งแต่ $\lambda/2$ และเพิ่มขึ้นทุกๆ $\lambda/2$ มีสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากันคือ 7.32 dB ถ้าต้องการกลุ่มสายอากาศที่ส่งสัญญาณได้ไกลและมีทิศทางที่แม่นยำ กลุ่มสายอากาศนั้นควรมีสภาพเจาะจงทิศทางสูง ความกว้างลำคลื่นครั้งกำลังน้อย มีพหุหลักเพียงพหุเดียว และไม่มีพหุข้างเกิดขึ้น จากตารางที่ 3.5 เห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ที่เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะนี้คือ $\lambda/2$ และ $3\lambda/4$

เมื่อทำการเปลี่ยนจำนวนอีลีเมนต์ของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล จะได้แบบรูปสภาพเจาะจงทิศทางดังรูปที่ 3.5



(ก) สภาพเจาะจงทิศทางในรูปเดซิเบล (dB)



(ข) สภาพเจาะจงทิศทางในรูปไม่มีหน่วย

รูปที่ 3.5 สภาพเจาะจงทิศทางสำหรับกลุ่มสายอากาศในโนเมเบิล ที่มีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$ และมีจำนวนอีลีเมนต์ (N) เป็น 4, 6, 8 และ 10 อีลีเมนต์

รูปที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อจำนวนอีลีเมนต์ของสายอากาศที่นำมาจัดเรียงกันมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นจะทำให้สภาพเจาะจงทิศทางมีค่าสูงขึ้นด้วย

3.2 ผลการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศดอล์ฟ-เชบีเชฟ

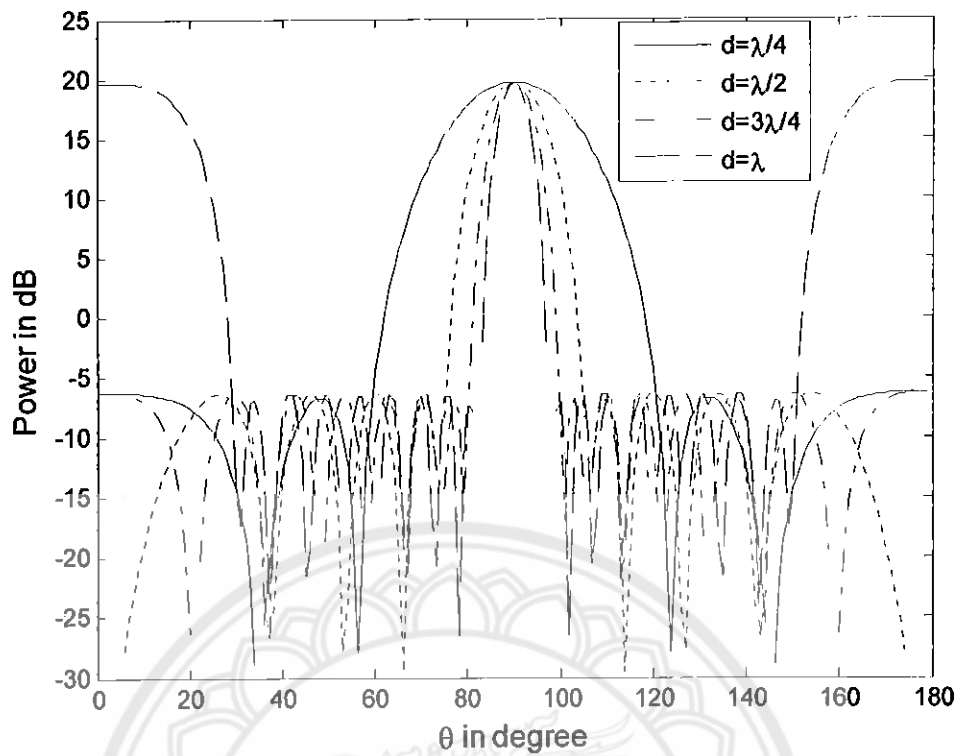
พิจารณากลุ่มสายอากาศไอโซทรอปิกที่ประกอบด้วยสายอากาศ 10 อีลีเมนต์ซึ่งมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ d และมีจำนวนอีลีเมนต์เป็นจำนวนคู่ ดังรูปที่ 3.1 ในการวิเคราะห์นี้กำหนดให้อัตราพหุคูณต่อพหุคูณเป็น 26 dB ดังนั้นตัวประกอบกลุ่มสายอากาศสามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (2.8ก) และ (2.8ค) จากนั้นกระจายอนุกรมของสมการ (2.8ก) และสมการ (2.11) ทำการหาค่าของ z_0 จากสมการ (2.18ข) แทนค่า z_0 ลงในสมการ $\cos(u) = z/z_0$ และให้สมการนี้เท่ากับตัวประกอบกลุ่มสายอากาศในสมการ (2.8ก) ที่กระจายอนุกรมแล้ว หลังจากนั้นแทนสมการของ $\cos(u) = z/z_0$ ด้วย $T_0(z)$ จะได้สัมประสิทธิ์การกระตุ้นของกลุ่มสายอากาศดอล์ฟ-เชบีเชฟดังนี้ $a_1 = 2.798$, $a_2 = 2.496$, $a_3 = 1.974$, $a_4 = 1.357$ และ $a_5 = 1$ และสามารถใช้โปรแกรม MATLAB ที่แสดงไว้ในภาคผนวก (ง) หาค่าตัวประกอบกลุ่มสายอากาศ จะได้แบบรูปกำลังของกลุ่มสายอากาศดอล์ฟ-เชบีเชฟดังรูปที่ 3.6

14941913

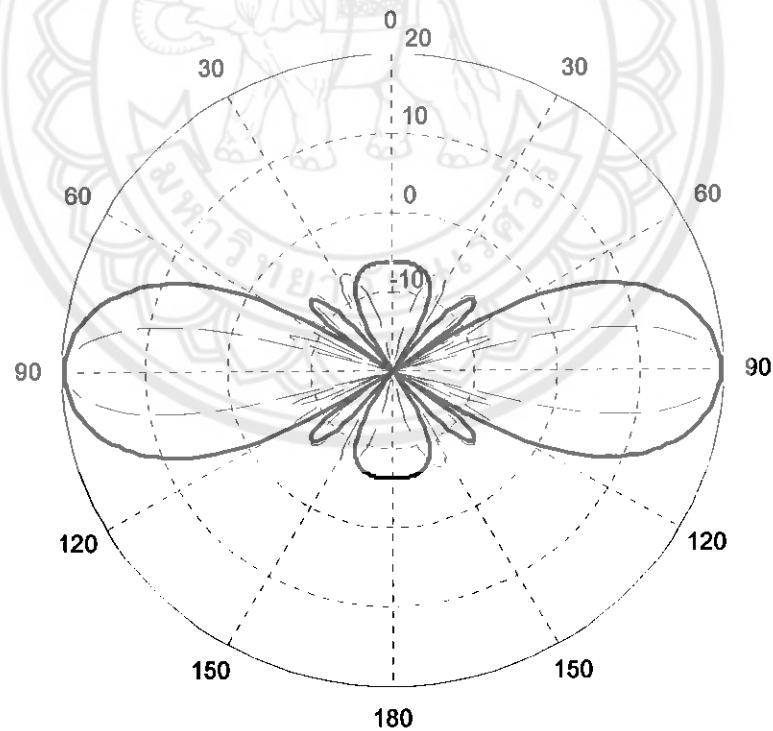
นร.

พ 23/77

2650



(ก) กราฟในระบบพิกัดฉาก



(ข) กราฟในระบบพิกัดเชิงขั้ว

————— $d = \lambda/4$
 - - - - - $d = \lambda/2$

รูปที่ 3.6 แบบรูปกำลังของตัวประกอบกลุ่มสายอากาศสำหรับกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ

10 อีลีเมนต์ ($N = 10$) ที่มีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ (d) เท่ากับ $\lambda/4$, $\lambda/2$, $3\lambda/4$ และ λ

จากรูปที่ 3.6 (ก) จะเห็นได้ว่าที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4, \lambda/2, 3\lambda/4$ และ λ แบบรูปกำลังของตัวประกอบกลุ่มสายอากาศคอลลี-เซบีเซฟจะมีจุดยอดของพูหลักสูงเท่ากัน และมีความสูงของพูข้างใกล้เคียงกันทำให้มีระดับพูข้าง (SLL) เท่ากันคือ 26 dB ที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ λ จะมีพูหลักเกิดขึ้นสองพู

ความกว้างลำคลื่นของกลุ่มสายอากาศคอลลี-เซบีเซฟ พิจารณาจากจุด -3dB ของการแผ่กระจายสูงสุดของพูหลัก ดังสมการ (ข.1) เมื่อใช้โปรแกรม MATLAB ในภาคผนวก (ง) หาความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังได้ดังตารางที่ 3.6 หรือหาความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังด้วยวิธีของ Elliott[5] ดังสมการ (ข.6) เป็นการนำความกว้างลำคลื่นของกลุ่มสายอากาศแถบความกว้างคงรูปซึ่งหาได้จากสมการ (ข.5) ไปคูณกับตัวประกอบส่วนกว้างลำคลื่น (f) ที่ได้จากสมการ (ข.4) หรือพิจารณาจากรูป (ข.2) จะได้ความกว้างลำคลื่นที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$ ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.6 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศคอลลี-เซบีเซฟ 10 อีลีเมนต์

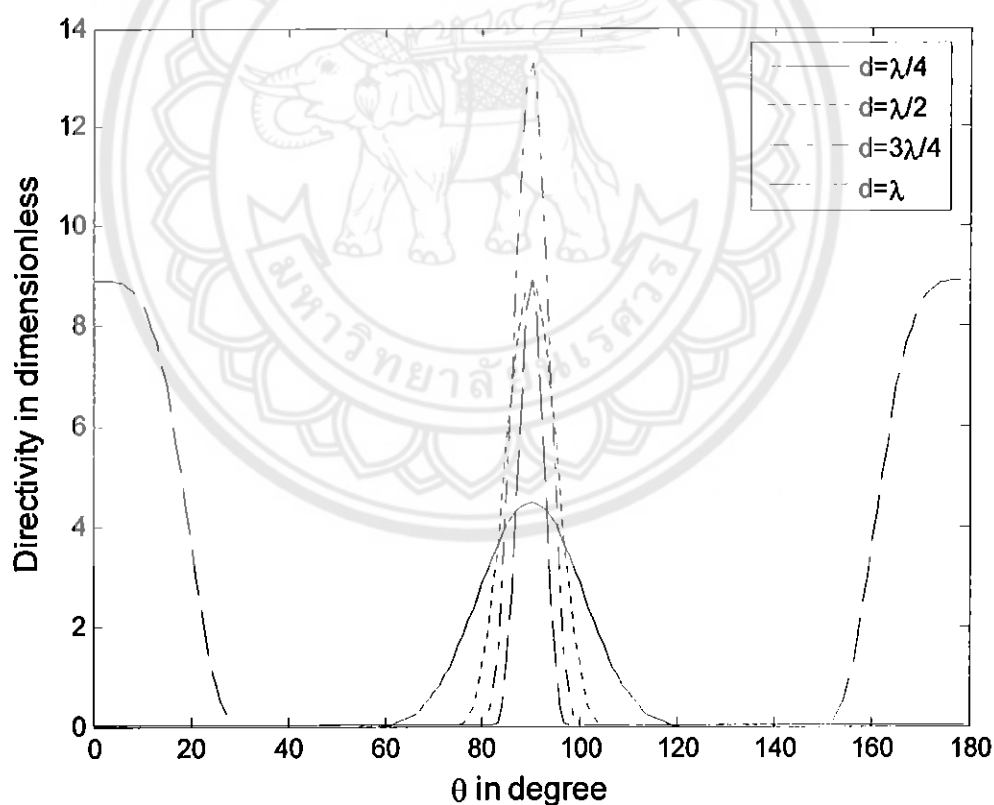
ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ (d)	ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW in degree)
$\lambda/4$	24.84
$3\lambda/8$	16.48
$\lambda/2$	12.33
$3\lambda/4$	8.21
λ	6.16
$5\lambda/4$	4.88
$3\lambda/2$	4.10
$7\lambda/4$	3.45
2λ	3.00

จากตารางที่ 3.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เพิ่มมากขึ้นความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศคอลลี-เซบีเซฟจะมีค่าลดลงแปรผกผันกัน เมื่อเปรียบเทียบความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$ ที่วิเคราะห์ได้จากสมการ (ข.1) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ดังตารางที่ 3.6 กับวิธีที่เสนอไว้โดย Elliott[5] ตามสมการ (ข.6) จะเห็นได้ว่าสภาพเจาะจงทิศทางที่ได้จะมีความสอดคล้องกันดังตารางที่ 3.7

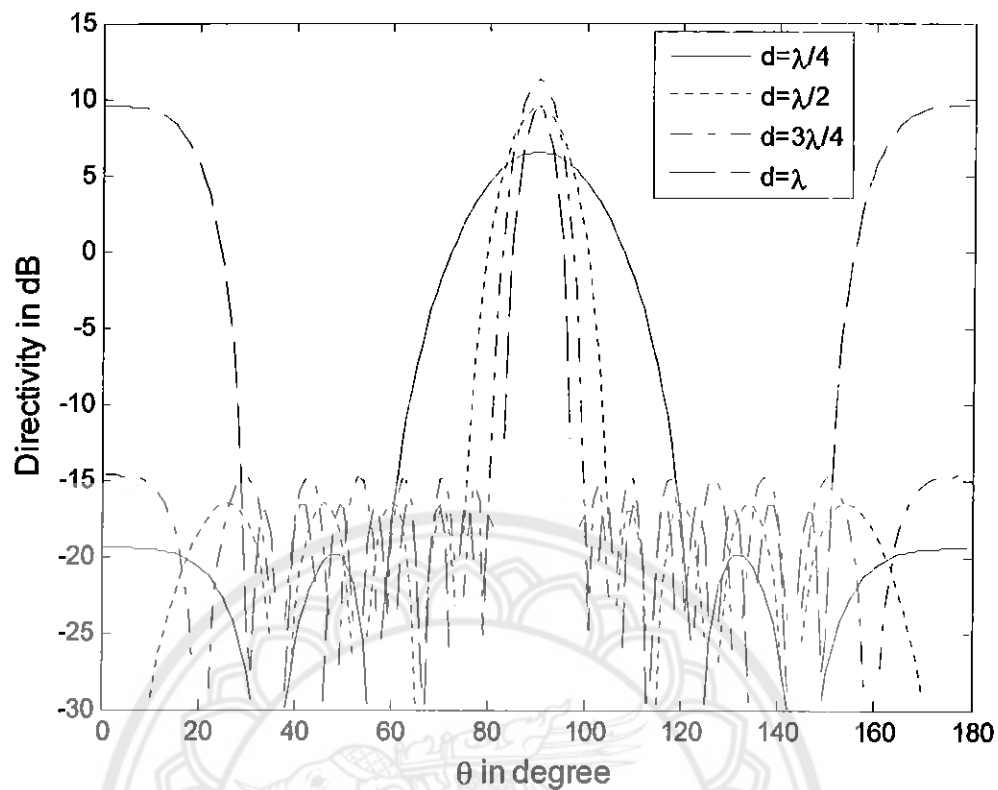
ตารางที่ 3.7 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศ คอล์ฟ-เซบีเซฟ 10 อีลีเมนต์
ที่มีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศ คอล์ฟ-เซบีเซฟ (องศา)	
วิธีของ Elliott ตามสมการ (ข.6)	วิธีที่เสนอตามสมการ (ข.1) โดยใช้โปรแกรม MATLAB
10.97	12.33

สภาพเจาะงทศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟสามารถหาได้จากสมการ (ค.11) หรือหาได้จากสมการ (ค.7) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ที่แสดงในภาคผนวก (ง) เมื่ออัตราพหุหลักต่อพหุรองเท่ากับ 26 dB แบบรูปสภาพเจาะงทศทางที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.7



(ก) สภาพเจาะงทศทางในรูปไม่มีหน่วย



(ข) สภาพเจาะจงทิศทางในรูปแบบเดซิเบล (dB)

รูปที่ 3.7 สภาพเจาะจงทิศทางสำหรับกลุ่มสายอากาศ คอลัม-เซบีเซฟ 10 อีลีเมนต์ ($N = 10$)
และระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4, \lambda/2, 3\lambda/4$ และ λ

จากรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าแบบรูปสภาพเจาะจงทิศทางของกลุ่มสายอากาศคอลัม-เซบีเซฟ 10 อีลีเมนต์ที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $3\lambda/4$ จะมีจุดยอดของพหุหลักสูงสุด และมีพหุข้างที่สูงเกิดขึ้นด้วย ส่วนที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4$ จะมีจุดยอดของพหุหลักต่ำสุดและมีพหุข้างที่ต่ำด้วย และที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$ กับ λ จะมีจุดยอดของพหุหลักสูงเท่ากัน ซึ่งที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ λ จะมีพหุหลักเกิดขึ้นสองพหุ สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศคอลัม-เซบีเซฟ 10 อีลีเมนต์แสดงได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศคอลัม-เซบีเซฟ ตามวิธีที่เสนอ
ในสมการ (ค.7) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ที่แสดงไว้ในภาคผนวก (ง)

ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ (d)	สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (dB)
$\lambda/4$	6.52
$3\lambda/8$	8.27
$\lambda/2$	9.50
$3\lambda/4$	11.24

ตารางที่ 3.8 (ต่อ) สภาพเจาะงทศทางสูงศดของกลุ่บสายอากาศคดล์ฟ-เชบ์เชฟ ตามวศที่เสนอ
ในสมการ (ค.7) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ที่แสดงไว้ในภาคผนวก (ง)

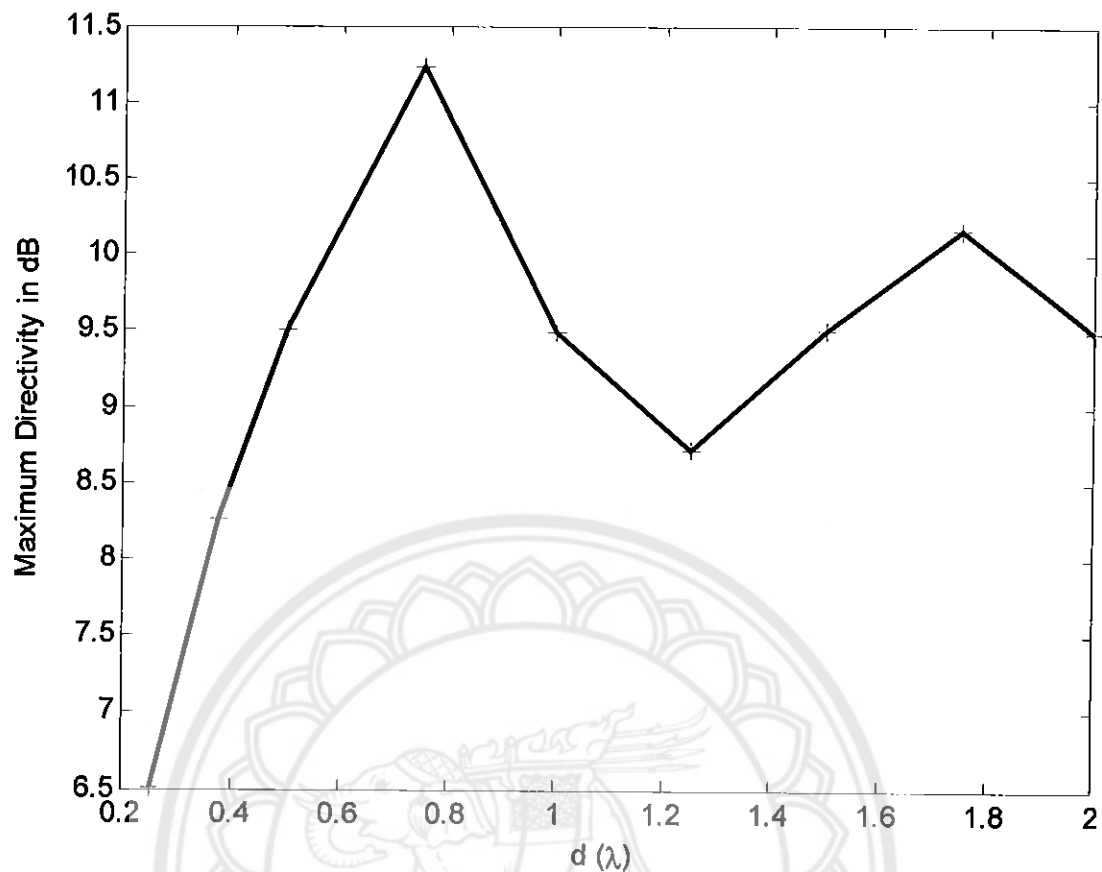
ระยะห่างระหว่างอศล้เมนด์ (d)	สภาพเจาะงทศทางสูงศด (dB)
λ	9.50
$5\lambda/4$	8.72
$3\lambda/2$	9.50
$7\lambda/4$	10.17
2λ	9.50

เมื่อเปรยบเทยบสภาพเจาะงทศทางสูงศดระยะห่างระหว่างอศล้เมนด์เท่ากับ $\lambda/2$ ที่วศระห้ได้จาก
สมการ (ค.7) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ดังตารางที่ 3.8 กับวศที่เสนอไว้โดย Elliott[5] ตามสมการ
(ค.11) จะเห็นได้ว้สภาพเจาะงทศทางที่ได้จะมีความสอดคล้้องกันดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 สภาพเจาะงทศทางสูงศดของกลุ่บสายอากาศ คดล์ฟ-เชบ์เชฟ 10 อศล้เมนด์
ที่มีระยะห่างระหว่างอศล้เมนด์เท่ากับ $\lambda/2$

สภาพเจาะงทศทางสูงศด ของกลุ่บสายอากาศ คดล์ฟ-เชบ์เชฟ (dB)	
วศของ Elliott ตามสมการ (ค.11)	วศที่เสนอตามสมการ (ค.7) โดย ใช้โปรแกรม MATLAB
9.63	9.50

จากตารางที่ 3.9 สามารถเขียนกราฟของสภาพเจาะงทศทางสูงศดของกลุ่บสายอากาศคดล์ฟ-เชบ์เชฟ
เทยบกับระยะห่างระหว่างอศล้เมนด์ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 สภาพเจาะงทิศทางสูงสุดเทียบกับระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์สำหรับกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ 10 อีลีเมนต์ ($N=10$)

จากรูปที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ตั้งแต่ 0.25λ ขึ้นไปจนถึงระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ 0.75λ สภาพเจาะงทิศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์มากกว่า 0.75λ จนถึง 1.25λ สภาพเจาะงทิศทางสูงสุดมีค่าลดลงตามลำดับ และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์มากกว่า 1.25λ จนถึง 1.75λ จากนั้นจะลดลงอีกที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์มากกว่า 1.75λ ซึ่งระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ตั้งแต่ 0.5λ และเพิ่มขึ้นทุกๆ 0.5λ มีสภาพเจาะงทิศทางเท่ากันคือ 9.50 dB

เมื่อพิจารณาร่วมกันระหว่างความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง สภาพเจาะงทิศทางสูงสุด และการปรากฏของพูข้างของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ 10 อีลีเมนต์จะแสดงได้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) และสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศ คอลัม- เซปเซฟ ตามวิธีที่เสนอในสมการ(ข.1) และ (ก.7) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ที่แสดงไว้ในภาคผนวก (ง) เมื่อกำหนดระดับพูข้างเท่ากับ 26 dB

ระยะห่างระหว่าง อีลีเมนต์ (d)	ความกว้างลำคลื่น ครึ่งกำลัง(องศา)	สภาพเจาะจงทิศ ทางสูงสุด (dB)	การปรากฏของพูและระดับของ พูข้าง SLL (dB)
$\lambda/4$	24.84	6.52	มีพูหลักหนึ่งพูและมีการปรากฏ ของพูข้าง $SLL = 26$
$3\lambda/8$	16.48	8.27	มีพูหลักหนึ่งพูและมีการปรากฏ ของพูข้าง $SLL = 26$
$\lambda/2$	12.33	9.50	มีพูหลักหนึ่งพูและมีการปรากฏ ของพูข้าง $SLL = 26$
$3\lambda/4$	8.21	11.24	มีพูหลักหนึ่งพูและมีการปรากฏ ของพูข้าง $SLL = 26$
λ	6.16	9.50	มีพูหลักสามพูและมีการปรากฏ ของพูข้าง $SLL = 26$
$5\lambda/4$	4.88	8.72	มีพูหลักสามพูและมีการปรากฏ ของพูข้าง $SLL = 26$
$3\lambda/2$	4.10	9.50	มีพูหลักสามพูและมีการปรากฏ ของพูข้าง $SLL = 26$
$7\lambda/4$	3.45	10.17	มีพูหลักสามพูและมีการปรากฏ ของพูข้าง $SLL = 26$
2λ	3.00	9.50	มีพูหลักห้าพูและมีการปรากฏ ของพูข้าง $SLL = 26$

จากตารางที่ 3.10 ที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ต่างกันระดับพูข้าง (SLL) มีค่าเท่ากันคือ 26 dB พิจารณาช่วงระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/4$ จนถึง $3\lambda/4$ จะเห็นได้ว่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียลจะมีค่าลดลงตามลำดับ และสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับด้วยเช่นกัน การปรากฏของพูพลังงานในช่วงนี้จะมีพูหลักเพียงพูเดียวและมีพูข้างเกิดขึ้น และเมื่อพิจารณาช่วงระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ที่มากกว่า $3\lambda/4$ ถึง $5\lambda/4$ ในช่วงนี้ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังจะมีค่าลดลงตามลำดับ และสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดก็มีค่าลดลงด้วยเช่นกัน การปรากฏของพูพลังงาน

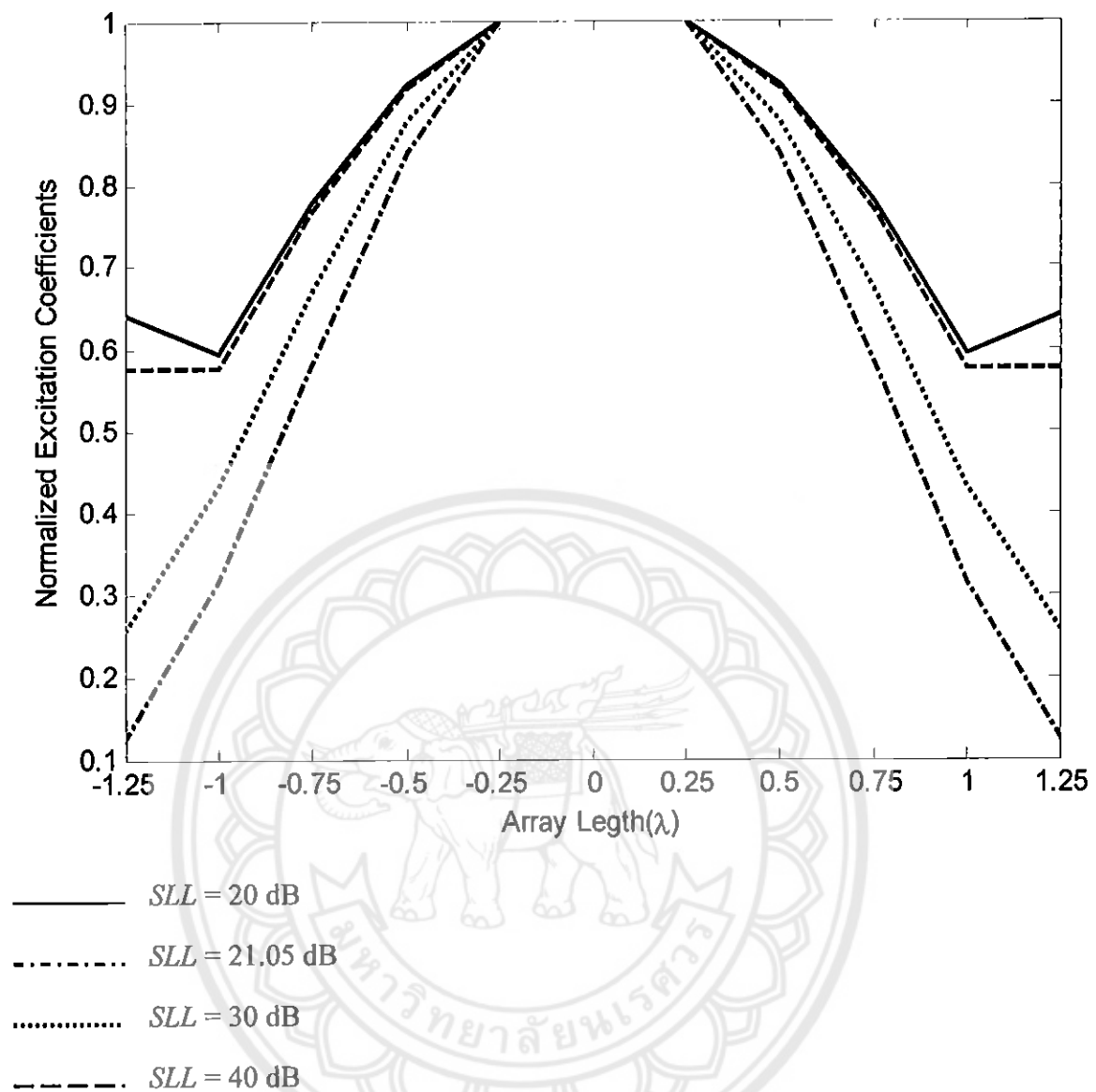
ในช่วงนี้จะมีพหุหลักเกิดขึ้นสามพหุและมีพหุข้างเกิดขึ้น พิจารณาระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ที่มากกว่า $5\lambda/4$ จนถึง $7\lambda/4$ ในช่วงนี้ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังจะมีค่าลดลงตามลำดับ แต่สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น การปรากฏของพหุพลังงานในช่วงนี้จะมีพหุหลักเกิดขึ้นสามพหุและมีพหุข้างเกิดขึ้น ส่วนช่วงระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ที่มากกว่า $7\lambda/4$ จนถึง 2λ ช่วงนี้ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังจะมีค่าลดลงและสภาพเจาะจงทิศทางก็มีค่าลดลงอีกเล็กน้อย การปรากฏของพหุพลังงานในช่วงนี้จะมีพหุหลักเกิดขึ้นห้าพหุและมีพหุข้างเกิดขึ้น ซึ่งระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ตั้งแต่ $\lambda/2$ และเพิ่มขึ้นทุกๆ $\lambda/2$ มีสภาพเจาะจงทิศทางเท่ากันคือ 9.50 dB ถ้าต้องการกลุ่มสายอากาศที่ส่งสัญญาณได้ไกลและมีทิศทางที่แม่นยำ กลุ่มสายอากาศนั้นควรมีสภาพเจาะจงทิศทางสูง ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังน้อย มีพหุหลักเพียงพหุเดียว และมีพหุข้างเกิดขึ้นน้อยที่สุด จากตารางที่ 3.10 เห็นได้ว่าระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ที่เหมาะสมกับการใช้งานในลักษณะนี้คือ $\lambda/2$ และ $3\lambda/4$

เมื่อกำหนดระดับพหุข้างให้กับกลุ่มสายอากาศคอลลี-เซปีเซฟ การแผ่กระจายแอมพลิจูดระหว่างอีลีเมนต์ของกลุ่มสายอากาศจะมีความสัมพันธ์กับระดับพหุข้างดังแสดงในตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 สัมประสิทธิ์การกระตุ้นของกลุ่มสายอากาศคอลลี-เซปีเซฟ 10 อีลีเมนต์ ในรูปนอร์มอลไลซ์ ที่ได้จากการพิจารณาแอมพลิจูดที่อยู่ตรงกลางอีลีเมนต์เมื่อระดับพหุข้างเท่ากับ 20 , 21.05 , 30 และ 40 dB โดยใช้โปรแกรม MATLAB ที่แสดงไว้ในภาคผนวก (ง)

ระดับพหุข้าง (dB)	สัมประสิทธิ์การกระตุ้น (a_n)				
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
20	1	0.921	0.777	0.594	0.641
21.05	1	0.916	0.765	0.574	0.576
30	1	0.878	0.669	0.429	0.257
40	1	0.839	0.580	0.315	0.125

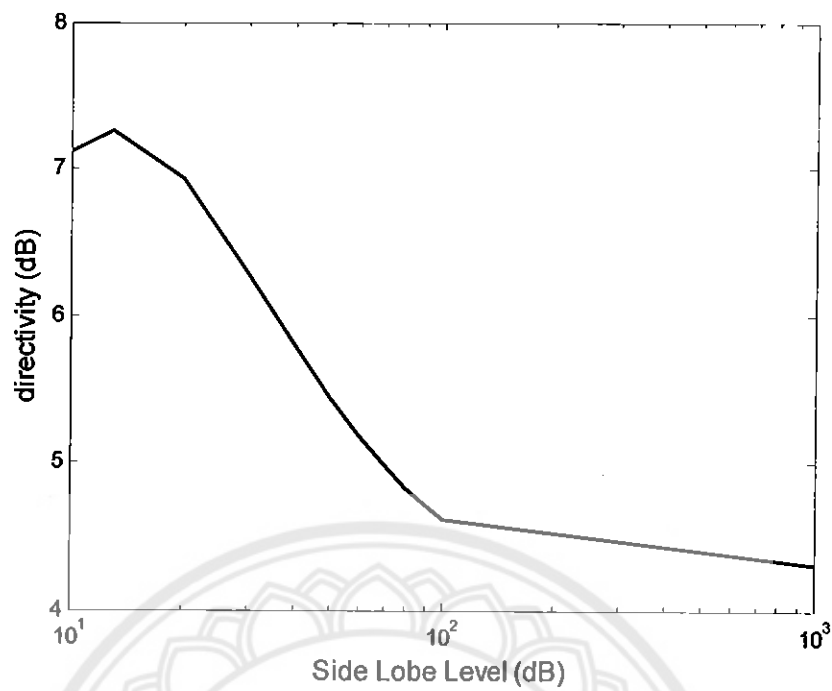
จากตารางที่ 3.11 จะสามารถนำไปเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 3.9



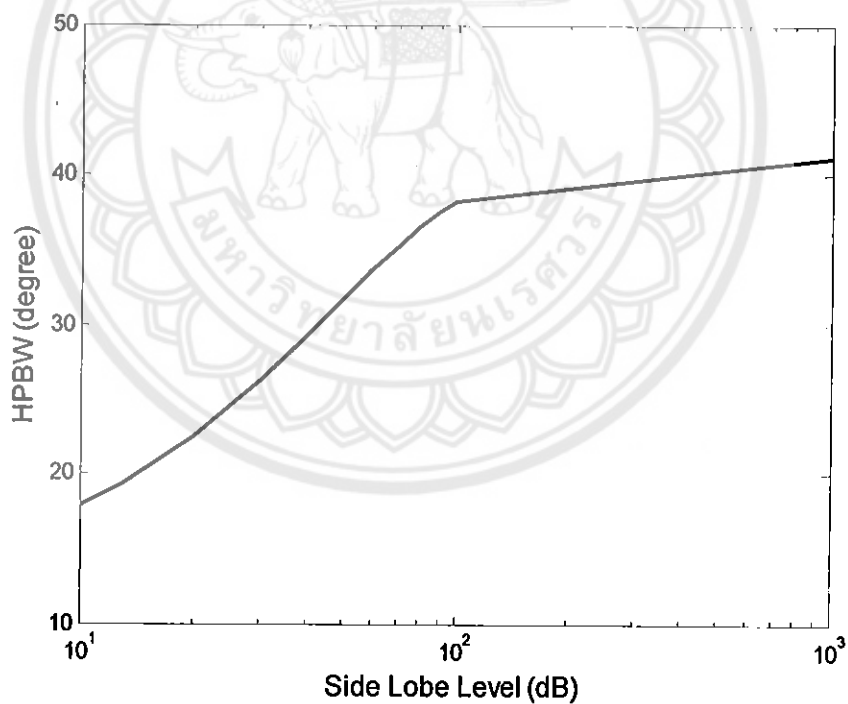
รูปที่ 3.9 การแผ่กระจายแอมพลิจูด ที่ระดับพูข้างต่างกัน สำหรับกลุ่มสายอากาศอัลฟ-เซบีเซฟ 10 อีลีเมนต์ ($N = 10$) และ $d = \lambda/4$

จากรูปที่ 3.9 เห็นได้ว่าที่ระดับพูข้างเท่ากับ 20 dB และ 21.05 dB การแผ่กระจายของแอมพลิจูด การกระตุ้นมีการลดลงจากจุดศูนย์กลางอีลีเมนต์ไปยังขอบด้านข้างไม่สม่ำเสมอ และที่ระดับพูข้างมากกว่า 21.05 dB ขึ้นไปการแผ่กระจายของแอมพลิจูดการกระตุ้นจากจุดศูนย์กลางอีลีเมนต์ไปยังขอบด้านข้างจะลดลงอย่างราบเรียบและสม่ำเสมอ

ในการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศเส้นตรงแอมพลิจูดไม่คงรูป จะพิจารณาร่วมกันระหว่างความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังและสภาพเจาะจงทิศทางเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ดังรูปที่ 3.10



(ก) สภาพเจาะจงทิศทาง



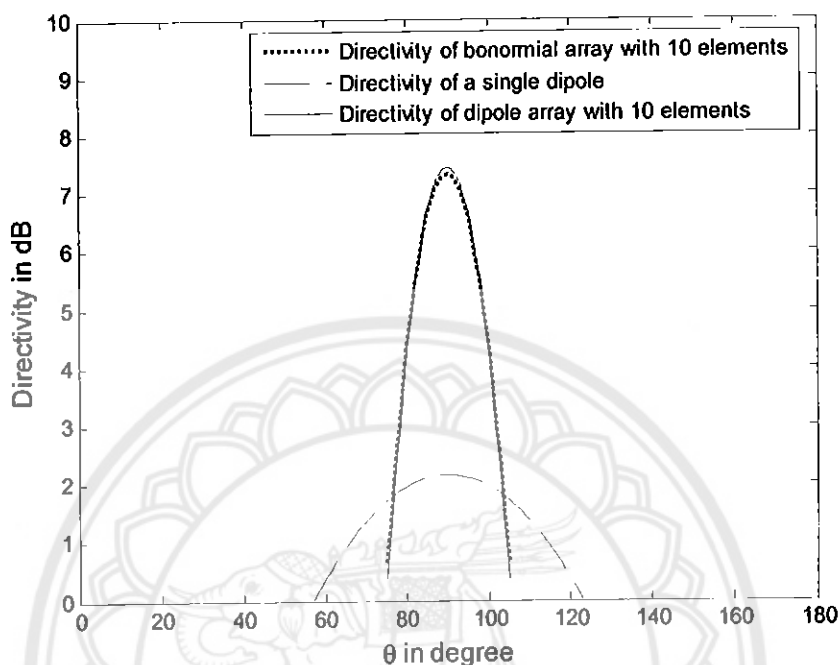
(ข) ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง

รูปที่ 3.10 สภาพเจาะจงทิศทางและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังเทียบกับระดับพูข้างสำหรับ
กลุ่มสายอากาศดอลฟ์-เชบีเซฟ 10 อีลีเมนต์ ($N=10$) และ $d = \lambda/4$

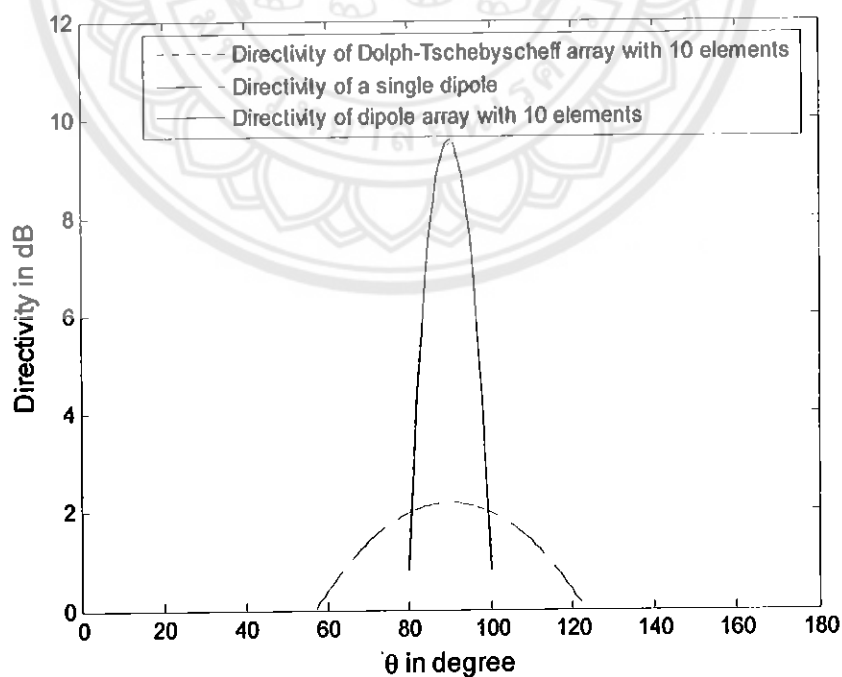
จากรูป 3.10 เมื่อระดับพูข้างลดลงสภาพเจาะจงทิศทางจะมีค่าเพิ่มขึ้นและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังมีค่าลดลง ดังรูปที่ 3.10(ก) และรูป 3.10(ข) ตามลำดับ ซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการในการใช้งานเพื่อให้ส่งสัญญาณได้ระยะทางที่ไกล

3.3 การนำสายอากาศขั้วคู่ (Dipole) มาจัดเรียงกันเป็นกลุ่มสายอากาศ

เมื่อนำสายอากาศขั้วคู่ 10 อีลีเมนต์ มาจัดเรียงกันเป็นกลุ่มสายอากาศสภาพจะงทศทางสามารถหาได้จากสมการ (ค.18) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในภาคผนวก (ง) แสดงได้ดังรูปที่ 3.12



(ก) สายอากาศขั้วคู่ที่ถูกจัดเรียงกันเป็นกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล



(ข) สายอากาศขั้วคู่ที่ถูกจัดเรียงกันเป็นกลุ่มสายอากาศดอล์ฟ-เชบิเชฟ

รูปที่ 3.11 สภาพจะงทศทางของกลุ่มสายอากาศที่ได้จากการจัดเรียงกันของสายอากาศขั้วคู่ 10 อีลีเมนต์ ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$

จากรูปที่ 3.11 เมื่อนำสายอากาศขั้วคู่มาจัดเรียงกันเป็นกลุ่มสายอากาศไบนอมิยล 10 อีลีเมนต์ โดยมีระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$ จะทำให้สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 2.15 dB เป็น 7.45 dB สำหรับกรณีนำสายอากาศขั้วคู่มาจัดเรียงกันเป็นกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟจะได้สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดเป็น 9.56 dB

3.4 เปรียบเทียบคุณลักษณะของกลุ่มสายอากาศไบนอมิยล กลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ และกลุ่มสายอากาศทรงรูป

เมื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆของกลุ่มสายอากาศไบนอมิยล กลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ และกลุ่มสายอากาศทรงรูป โดยกลุ่มสายอากาศแต่ละชนิดมีการจัดเรียงกัน 10 อีลีเมนต์ ที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$ แสดงได้ดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 เปรียบเทียบคุณลักษณะของกลุ่มสายอากาศไบนอมิยล กลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ และกลุ่มสายอากาศทรงรูป 10 อีลีเมนต์ ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$

ชนิดของกลุ่ม สายอากาศ	คุณลักษณะของกลุ่มสายอากาศ			
	สภาพเจาะจง ทิศทางสูงสุด D_{max} (dB)	ความกว้างลำคลื่น ครึ่งกำลัง HPBW (องศา)	ระดับพูข้าง SLL (dB)	แอมพลิจูดการ กระตุ้นอีลีเมนต์
ไบนอมิยล	7.32	20.22	∞	อัตราส่วนของขนาด กระแสสูงสุดต่อ กระแสต่ำสุดในอีลี เมนต์มีค่าสูง (100:0.79)
คอล์ฟ-เชบีเชฟ	9.50	12.33	26	อัตราส่วนของขนาด กระแสสูงสุดต่อกระ แสต่ำสุดในอีลีเมนต์ มีค่าต่ำกว่ากลุ่มสาย อากาศไบนอมิยล (100:35.74)
ทรงรูป	10	10.20	13	ขนาดกระแสแต่ละ อีลีเมนต์เท่ากัน (100:100)

บทที่ 4

สรุปผลการวิเคราะห์และข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศเส้นตรงระยะห่างคงรูปและแอมพลิจูดไม่คงรูปได้แก่ กลุ่มสายอากาศไบนอมิเยลและกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟพบว่าในสายอากาศแบบไบนอมิเยลแอมพลิจูดการกระตุ้นถูกพิจารณาจากการกระจายอนุกรมไบนอมิเยล คุณลักษณะของกลุ่มสายอากาศชนิดนี้มีสภาพเจาะจงทิศทางต่ำและมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) ที่กว้างเมื่อเทียบกับกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ อัตราส่วนของขนาดกระแสสูงสุดต่อกระแสต่ำสุดในอีลีเมนต์มีค่าสูงทำให้ควบคุมระดับแอมพลิจูดได้ยากมาก แต่ข้อดีของกลุ่มสายอากาศไบนอมิเยลคือโดยทั่วไปแล้วจะไม่มีพูข้างเกิดขึ้น ($Side\ lobe = -\infty$) สำหรับกรณีกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ แอมพลิจูดการกระตุ้นจะถูกพิจารณาจากโพลีโนเมียลเชบีเชฟโดยวิธีของคอล์ฟซึ่งสามารถกำหนดระดับพูข้าง (SLL) ได้ตามความต้องการ กลุ่มสายอากาศชนิดนี้มีสภาพเจาะจงทิศทางสูง และมีความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) แคบกว่ากลุ่มสายอากาศไบนอมิเยล แต่ข้อเสียคือมีการปรากฏของพูข้าง อัตราส่วนของขนาดกระแสสูงสุดต่อกระแสต่ำสุดในอีลีเมนต์มีค่าต่ำทำให้ง่ายต่อการควบคุมระดับของแอมพลิจูดและจากการวิเคราะห์พบว่ากลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟ มีคุณลักษณะอยู่ระหว่างกลุ่มสายอากาศคงรูปกับกลุ่มสายอากาศไบนอมิเยล

4.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศในโครงการนี้เป็นเพียงการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นการจำลองทางทฤษฎีเท่านั้น ในการใช้งานจริงอาจมีปัจจัยภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้องเช่นภูมิอากาศ สภาพแวดล้อมและปัจจัยอื่นๆที่อาจทำให้ผลการวิเคราะห์นี้มีความคลาดเคลื่อนไปบ้าง หากต้องการที่จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับสมรรถนะขณะปฏิบัติงานได้ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด ก็สามารถทำได้โดยการวัดและทดสอบในย่านทดสอบจริง

เอกสารอ้างอิง

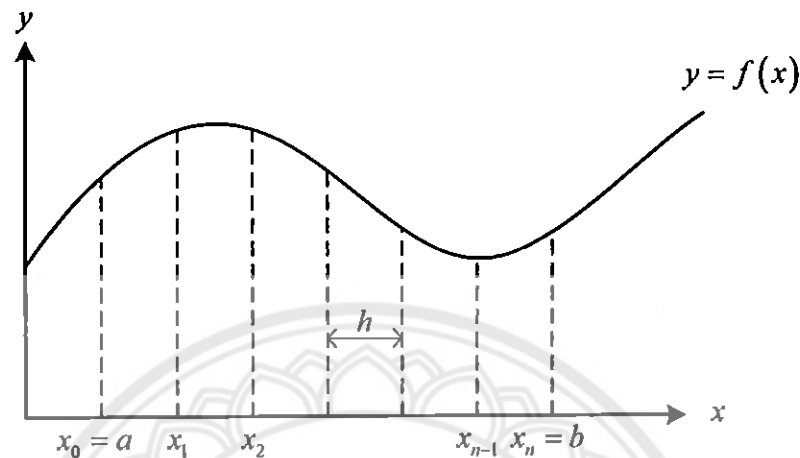
- [1] Constantine A. Balanis. **Antenna Theory Analysis and Design**. 2nd Ed .,United States of America : John Wiley & Sons , Inc.1997.
- [2] J. S. Stone, United States Patents No. 1,643,323 and No. 1,715,433.
- [3] C. L. Dolph, "A Current Distribution for broadside Array Which Optimizes the Relationship Between Beamwidth and Side-Lobe Level," Proc.IRE and Waves and Electrons,June 1946
- [4] L. J. Ricardi, "Radiation Properties of the Binomial Array," Microwave Journal,Vol. 15, No. 12, December 1972, pp. 20-21.
- [5] R. S. Elliott, "Beamwidth and Directivity of Large Scanning Arrays," First of Two Parts,The microwave Journal,December 1963 , pp. 53-60
- [6] จักรชัย ไวยาพัฒน์กร. การวิเคราะห์สายอากาศ. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2547.





ภาคผนวก (ก)

การอินทิเกรตเชิงตัวเลขโดยใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ ก.1 การแบ่งช่วงของการอินทิเกรตแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

จากรูป ก.1 ค่าอินทิเกรต $f(x)$ ในช่วง $a \leq x \leq b$ หาได้โดยการแบ่งพื้นที่การอินทิเกรตทั้งหมดออกเป็น n ช่วงเริ่มตั้งแต่ ช่วง $x_0 \leq x \leq x_1, x_1 \leq x \leq x_2, \dots, x_{n-1} \leq x \leq x_n$ สามารถเขียนได้ดังสมการ (ก.1)

$$\int_a^b f(x) dx = \int_{x_0}^{x_1} f(x) dx + \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx + \dots + \int_{x_{n-1}}^{x_n} f(x) dx \quad (\text{ก.1})$$

จากนั้นประมาณด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูและหาค่าผลรวมของพื้นที่สี่เหลี่ยมย่อยในช่วง a ถึง b ได้ดังสมการ (ก.2)

$$\begin{aligned} \int_a^b f(x) dx &= \int_{x_0}^{x_1} f(x) dx + \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx + \dots + \int_{x_{n-1}}^{x_n} f(x) dx \\ &= \frac{h}{2} [(f(x_0) + f(x_1)) + (f(x_1) + f(x_2)) + \dots + (f(x_{n-1}) + f(x_n))] \end{aligned} \quad (\text{ก.2})$$

$$h = \frac{b-a}{n} \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ n เป็นจำนวนเต็ม ใช้แทนจำนวนช่วงที่แบ่ง

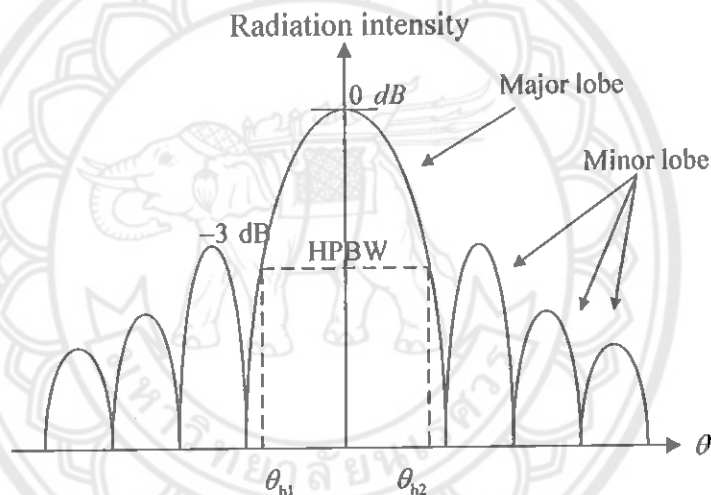
ภาคผนวก (ข)

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง

ความกว้างลำคลื่นเป็นค่าที่มีผลต่อการพิจารณาความสามารถในการกำหนดรายละเอียดการตรวจวัดข้อมูลในการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล หรือพื้นที่ครอบคลุมของลำสัญญาณในการให้บริการการสื่อสารผ่านดาวเทียม เป็นต้น [6] ความกว้างลำคลื่นสามารถหาได้หลายวิธีดังนี้

ข.1 การหาค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง จากแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังสามารถพิจารณาได้จากขนาดเชิงมุมของพหุหลักที่วัดตรงช่วงระหว่างตำแหน่งที่ก้ำกึ่งคลื่นลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุด (-3dB) ดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระบบพิกัดฉาก

เมื่อกำหนดให้มุมที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่ก้ำกึ่งคลื่นลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุดเป็น θ_{h1} และ θ_{h2} จะสามารถหาความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังได้ดังนี้

$$\text{HPBW} = \theta_{h2} - \theta_{h1} \quad (\text{ข.1})$$

ข.2 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศไบนอมิเยลโดยวิธีของ Ricardi [4]

Ricardi ได้เสนอสูตรการหาความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศไบนอมิเยลที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$ ไว้ดังนี้

$$HPBW(d = \lambda/2) = \frac{1.06}{\sqrt{N-1}} = \frac{1.06}{\sqrt{2L/\lambda}} = \frac{0.75}{\sqrt{L/\lambda}} \quad (\text{ข.2})$$

เมื่อ

N คือ จำนวนอีลีเมนต์

L คือ ความยาวสายอากาศ

ข.3 ความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศ คอส์ฟ-เซบีเซฟโดยวิธีของ Elliott [5]

Elliott ได้เสนอวิธีหาความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศคอส์ฟ-เซบีเซฟ โดยหาจากการพิจารณาตัวประกอบส่วนกว้างลำคลื่น ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เปลี่ยนรูประดับพหุขั้วจากเดซิเบลเป็นอัตราแรงดัน (voltage ratio) ดังนี้

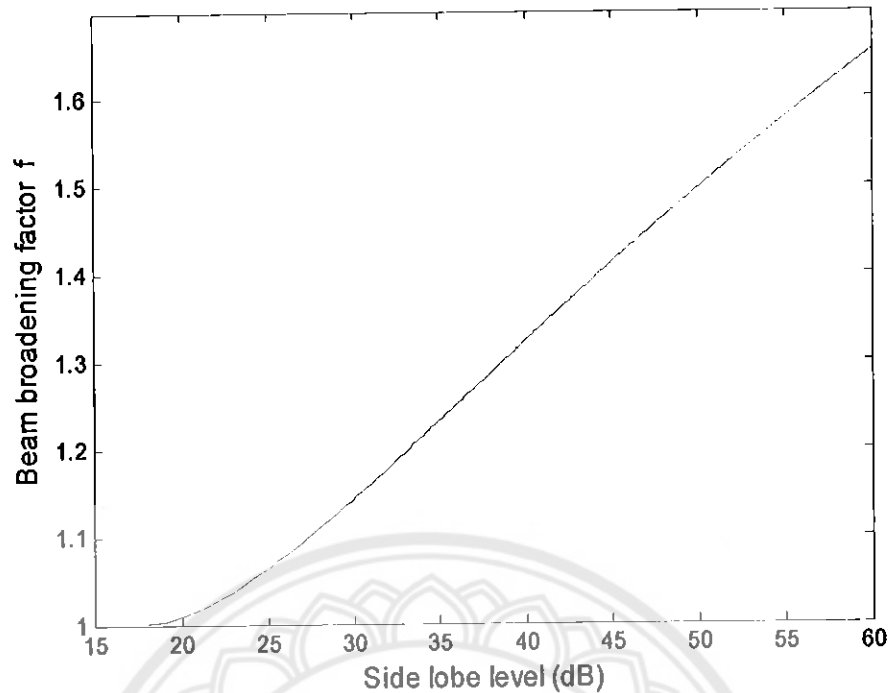
$$R_0 (\text{Voltage Ratio}) = [R_0 (VR)] = 10^{R_0 (dB)/20} \quad (\text{ข.3})$$

R_0 คือ อัตราแรงดันของพหุหลักต่อพหุข้าง

2. หาตัวประกอบส่วนความกว้างลำคลื่น (beam broadening factor (f)) ซึ่งประมาณได้จากวิธีของ Elliott ดังนี้

$$f = 1 + 0.636 \left\{ \frac{2}{R_0} \cosh \left[\sqrt{(\cosh^{-1} R_0)^2 - \pi^2} \right] \right\}^2 \quad (\text{ข.4})$$

หรือหาได้จากการพิจารณากราฟในรูปที่ ข.2 เมื่อทราบค่า R_0



รูปที่ ข.2 ตัวประกอบส่วนกว้างลำคลื่นของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ- เซบีเซฟ

3. คำนวณหาความกว้างลำคลื่นของกลุ่มสายอากาศทรงรูป โดยสมการดังนี้

$$\Theta_h = \cos^{-1} \left[\cos \theta_0 - 0.443 \frac{\lambda}{(L+d)} \right] - \cos^{-1} \left[\cos \theta_0 + 0.443 \frac{\lambda}{(L+d)} \right] \quad (\text{ข.5})$$

เมื่อ L คือ ความยาวของกลุ่มสายอากาศ

θ_0 คือ มุมที่มีความเข้มของการแผ่พลังงานสูงสุด

4. หาความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของ กลุ่มสายอากาศ คอล์ฟ- เซบีเซฟ โดยดูความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศทรงรูปในขั้นตอนที่ 3 ด้วย ตัวประกอบส่วนกว้างลำคลื่น (f) ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2. สามารถเขียนได้ดังนี้

$$HPBW_{DCA} = \Theta_h \times f \quad (\text{ข.6})$$

ภาคผนวก (ค)

สภาพเจาะงทศทาง

สภาพเจาะงทศทางเป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถเชิงทศทางของสายอากาศ ซึ่งสภาพเจาะงทศทางสูงสุดสามารถหาได้จากวิธีดังต่อไปนี้

ค.1 สภาพเจาะงทศทางสูงสุดที่ได้จากแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศ

$$D = \frac{U(\theta, \phi)}{U_0} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{rad}} \quad (\text{ก.1})$$

$$D_{max} = \frac{U(\theta, \phi)|_{max}}{U_0} = \frac{U(\theta, \phi)_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)_{max}}{P_{rad}} \quad (\text{ก.2})$$

เมื่อ

D	คือ สภาพเจาะงทศทาง (<i>dimensionless</i>)
D_{max}	คือ สภาพเจาะงทศทางสูงสุด (<i>dimensionless</i>)
U	คือ ความเข้มของการแผ่รังสี (<i>W / unit solid angle</i>)
U_{max}	คือ ความเข้มของการแผ่รังสีสูงสุด (<i>W / unit solid angle</i>)
U_0	คือ ความเข้มของการแผ่รังสีของแหล่งกำเนิดไอโซทรอปิก (<i>W / unit solid angle</i>)
P_{rad}	คือ การแผ่กระจายกำลังคลื่นทั้งหมด (<i>W</i>)

เมื่อ

$$P_{rad} = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} U(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi \quad (\text{ก.3})$$

และ

$$U(\theta, \phi) = [(AF)_n]^2 \quad (\text{ก.4})$$

จะได้

$$U(\theta, \phi)_{max} = [(AF)_n]_{max}^2 \quad (\text{ก.5})$$

ดังนั้น

$$D_{\max} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)_{\max}}{P_{\text{rad}}} = \frac{4\pi [(AF)_n]_{\max}^2}{\int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} U(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi} = \frac{4\pi [(AF)_n]_{\max}^2}{2\pi \int_{\theta=0}^{\pi} [(AF)_n]^2 \sin \theta d\theta} \quad (\text{ก.6})$$

จะได้สมการสภาพเจาะงทศทางสูงสุดเป็น

$$D_{\max} = \frac{2[(AF)_n]_{\max}^2}{\int_{\theta=0}^{\pi} [(AF)_n]^2 \sin \theta d\theta} \quad (\text{ก.7})$$

จากพจน์ของ $\int_{\theta=0}^{\pi} [(AF)_n]^2 \sin \theta d\theta$ เมื่อเทียบกับสมการ (ก.2) เราจะให้

$$f(x_n) = [(AF)_n]^2 \sin \theta$$

ค่าขอบเขตการอินทิเกรตต่างและบนเป็น $a=0$ และ $b=\pi$ ตามลำดับ เมื่อแบ่งสี่เหลี่ยมคางหมูออกเป็น 180 ช่วง จะได้ค่า h ในสมการ (ก.3) เป็น $h = \frac{\pi}{180}$ ดังนั้นพจน์ $\int_{\theta=0}^{\pi} [(AF)_n]^2 \sin \theta d\theta$ สามารถหาค่าได้โดยใช้การอินทิเกรตด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูแบบหลายช่วงดังรูป (ก.1)

ก.2 สภาพเจาะงทศทางสูงสุดสำหรับกลุ่มสายอากาศไบโนเมียลโดยวิธีของ Ricardi [4]

Ricardi ได้เสนอสูตรการหาสภาพเจาะงทศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล ที่ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$ ไว้ดังนี้

$$D_{\max} = \frac{2}{\int_0^{\pi} \left[\cos \left[\frac{\pi}{2} \cos \theta \right] \right]^{2(N-1)} \sin \theta d\theta} \quad (\text{ก.8})$$

$$D_{\max} = \frac{(2N-2)(2N-4)\dots 2}{(2N-3)(2N-5)\dots 1} \quad (\text{ก.9})$$

$$D_{\max} = 1.17\sqrt{N} = 1.77\sqrt{1+2L/\lambda} \quad (\text{ก.10})$$

N คือ จำนวนอีลีเมนต์

L คือ ความยาวสายอากาศ

ค.3 สภาพเจาะงทิตทางสูงสุดสำหรับกลุ่มสายอากาศ คอล์ฟ-เซบีเซฟโดยวิธีของ Elliott[5]

Elliott ได้เสนอวิธีหาสภาพเจาะงทิตทางของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟไว้ดังนี้

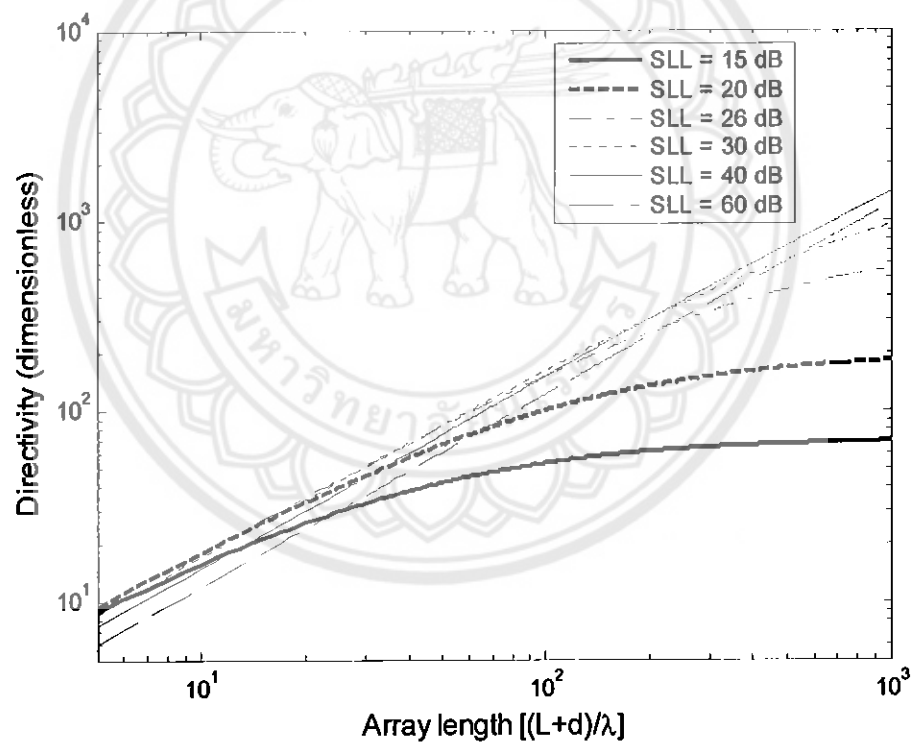
$$D_{\max} = \frac{2R_0^2}{1 + (R_0^2 - 1)f \frac{\lambda}{(L+d)}} \quad (\text{ค.11})$$

f คือ ตัวประกอบส่วนกว้างลำคลื่น(Beam Broadening Factor) หาได้จากสมการ (ข-4)

R_0 คือ ระดับพูข้าง (อัตราแรงดันของพูหลักต่อพูข้างในรูปไม่มีหน่วย)

$L+d$ คือ ความยาวสายอากาศ ($N \times d$)

เมื่อกำหนดความยาวของสายอากาศหรือกำหนดจำนวนอีลีเมนต์ของกลุ่มสายอากาศ สภาพเจาะงทิตทางของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟจะสามารถหาได้โดยพิจารณาจากรูป ค.1



รูปที่ ค.1 สภาพเจาะงทิตทางของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เซบีเซฟเทียบกับความยาวสายอากาศ

ค.4 สภาพเจาะงทิตทางสำหรับสายอากาศขั้วคู่

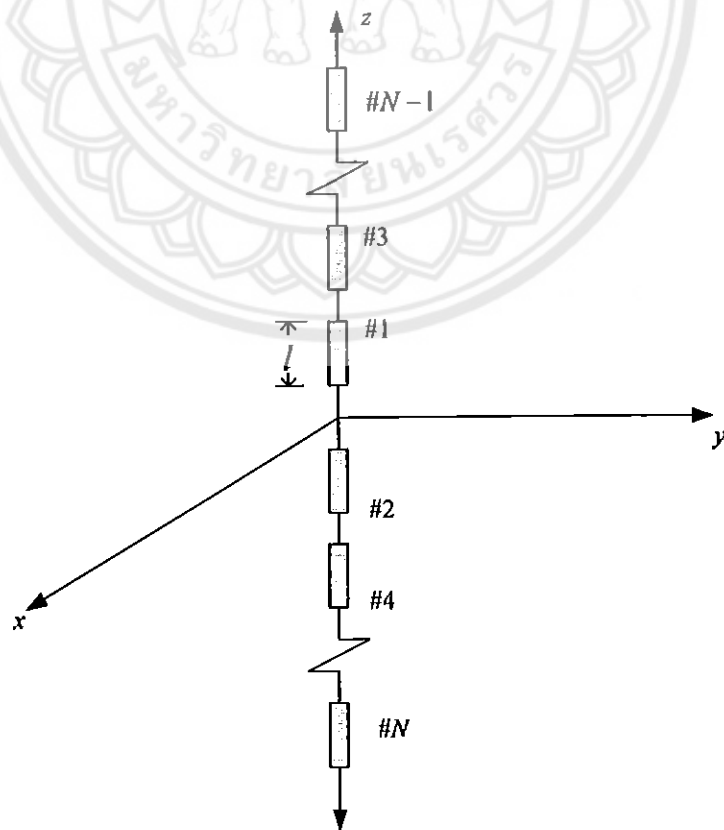
สภาพเจาะงทิตทางของสายอากาศขั้วคู่สามารถพิจารณาจากสนามไฟฟ้าของสายอากาศ ซึ่งมาจากสมการดังนี้[1]

$$E_\theta = j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{kl}{2} \cos \theta\right) - \cos\left(\frac{kl}{2}\right)}{\sin \theta} \right] \quad (\text{ค.12})$$

ที่ตำแหน่งของสายอากาศขั้วคู่ครึ่งความยาวคลื่น $\left(l = \frac{\lambda}{2}\right)$ จะได้สนามไฟฟ้าดังนี้

$$E_\theta = j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta} \right] \quad (\text{ค.13})$$

เมื่อนำสายอากาศขั้วคู่มาเรียงกันเป็นกลุ่มสายอากาศได้ดังรูป ค.2



รูปที่ ค.2 การจัดเรียงสายอากาศขั้วคู่เป็นกลุ่มสายอากาศ

จากรูป ค.2 เมื่อนำสายอากาศขั้วคู่มาจัดเรียงกันเป็นกลุ่มสายอากาศจะได้สมการของสนามไฟฟ้าดังนี้

$$E_\theta = j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right] [AF] \quad (\text{ค.14})$$

จากสมการ (ค.14) พจน์ของตัวประกอบกลุ่มสายอากาศ (AF) จะขึ้นอยู่กับชนิดของกลุ่มสายอากาศ

ความเข้มการแผ่กระจายเฉลี่ย (W_{av}) สามารถหาได้จากสมการ (ค.15) ดังนี้

$$W_{av} = \frac{1}{2\eta} |E_\theta|^2 = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2 r^2} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right]^2 [AF]^2 \quad (\text{ค.15})$$

เมื่อ

$$U = r^2 W_{av} = \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2} \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right]^2 [AF]^2 \quad (\text{ค.16})$$

และ

$$P_{rad} = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi} U \sin\theta d\theta d\phi = 2\pi \eta \frac{|I_0|^2}{8\pi^2} \int_0^\pi \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right]^2 [AF]^2 d\theta \quad (\text{ค.17})$$

ดังนั้นสภาพจะงทิศทางของสายอากาศขั้วคู่เป็นไปตามสมการ (ค.18) ดังนี้

$$D = \frac{4\pi U}{P_{rad}} = \frac{2 \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right]^2 [AF]^2}{\int_0^\pi \left[\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{\sin\theta} \right]^2 [AF]^2 \sin\theta d\theta} \quad (\text{ค.18})$$

ภาคผนวก (ง)

โปรแกรมวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศ

โปรแกรมหาค่า ตัวประกอบกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล

เมื่อจำนวนอีลิเมนต์เป็นคู่ จะสามารถหาตัวประกอบกลุ่มสายอากาศ (Array Factor) ได้จากสมการ (2.8ก) และ (2.8ค) ค่าสัมประสิทธิ์การกระตุ้นหาได้จากสมการ (2.10) ซึ่งเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```
function array_bi(lambda)%Function array_bi vary by lambda.  
an=[126;84;36;9;1];%Excitation coefficients for 10-element binomial array.  
m=5;%number of isotropic 10 element.
```

```
%Find  $an \cdot \cos[(2n-1)u]$ .  
for j=1:180  
    step=pi/180;  
    th=(j-1)*step;  
    for n=1:m  
        temp1=(pi*lambda)*cos(th);  
        temp2=(2*n-1)*temp1;  
        temp3=cos(temp2);  
        temp4=an(n,1)*temp3;  
        temp5(n,1)=temp4;  
    end  
    AF(j,1)=sum(temp5);%Array factor.  
    theta(j,1)=th*180/pi;%Theta in degree.  
end  
AF_log=20*log10(abs(AF));%Array factor for x-y plane plot in dB.  
for j=1:180  
    if AF_log(j,1)>=[-30]  
        a_log(j,1)=AF_log(j,1);  
    else  
        a_log(j,1)=inf;  
    end  
end  
AF1_log=(20*log10(abs(AF)));%Array factor for polar plot in dB.  
for j=1:180  
    if AF1_log(j,1)>=[0]  
        a1_log(j,1)=AF1_log(j,1);  
    else  
        a1_log(j,1)=0;  
    end  
end  
th1=theta*pi/180;%Find th1 in radians.
```

```
%The part of plot graph.  
figure(1)
```

```

plot(theta,a_log,'k-')%Plot in x-y plane.
xlabel('\theta in degree')
ylabel('Power in dB')
figure(2)
polar(th1,a1_log,'k-')%Plot in polar.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

โปรแกรมหาค่า ตัวประกอบกลุ่มสายอากาศคอลล์-เชบีเชฟ

เมื่อจำนวนอีลีเมนต์เป็นคู่ ตัวประกอบกลุ่มสายอากาศคอลล์-เชบีเชฟสามารถหาได้จากสมการ (2.8ก) และ (2.8ข) ซึ่งสัมพันธ์กับการกระตุ้นของกลุ่มสายอากาศคอลล์-เชบีเชฟขึ้นอยู่กับระดับพูข้าง (SLL) ซึ่งเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```

function array_dolp(sll,l)%Function array_dolp vary by side lobe level(sll) and l.
    SLL_di=(10^((sll)/20));%The side lobe level in dB translate to dimensionless.
    Z0=cosh((1/9)*acosh(SLL_di));%Find Z0.

    %Find excitation coefficients.
    a5=Z0^9;
    a4=(((-576.*(Z0^7)))+(576*(a5)))/64;
    a3=((432.*(Z0^5)-(432*a5)+(112*a4))/16;
    a2=(((-120.*(Z0^3)+(120*(a5))-(56*(a4)))+(20*(a3)))/4;
    a1=((9*(Z0))-(9*(a5))+(7*(a4))-(5*(a3))+(3*(a2)));
    a5_normal=a5/a5;
    a4_normal=a4/a5;
    a3_normal=a3/a5;
    a2_normal=a2/a5;
    a1_normal=a1/a5;
    an=[a1_normal;a2_normal;a3_normal;a4_normal;a5_normal];
    an1=an;
    [m,c]=size(an1);
    for j=1:180
        step=pi/180;
        th=(j-1)*step;
        for n=1:m
            temp1=(pi*n)*cos(th);
            temp2=(2*n-1)*temp1;
            temp3=cos(temp2);
            temp4=an1(n,1)*temp3;
            temp5(n,1)=temp4;
        end
        AF(j,1)=sum(temp5);%Array factor.
        theta(j,1)=th*180/pi; %Theta indegree.
    end
    AF_log=20*log10(abs(AF));%Array factor for x-y plot in dB.
    for j=1:180
        if AF_log(j,1)>=[-30]
            a_log(j,1)=AF_log(j,1);

```

```

else
    a_log(j,1)=inf;
end
end
AF1_log=20+(20*log10(abs(AF)));%Array factor for polar plot in dB.
for j=1:180
    if AF1_log(j,1)>=[0]
        a1_log(j,1)=AF1_log(j,1);
    else
        a1_log(j,1)=0;
    end
end
th1=theta*pi/180;%Theta for polar plot.

%The part of plot graph.
figure(1)
plot(theta,a_log,'k-')%Plot in x-y plane.
xlabel('\theta in degree')
ylabel('Power in dB')
figure(2)
polar(th1,a1_log,'k-')%Plot in polar.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

โปรแกรมหาค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) ของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล

ค่าความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) คือมุมที่เกิดขึ้นในระหว่างตำแหน่งที่ลำคลื่นลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของกำลังสูงสุด (-3dB) หรือมีค่าเป็น 0.707 ของการแผ่กระจายขนาดสนามสูงสุด และในข้อนี้จะใช้มุมที่เกิดขึ้นระหว่าง 0.707 ของขนาดตัวประกอบกลุ่มสายอากาศ (AF) ดังนั้นจะต้องหาค่าของตัวประกอบกลุ่มสายอากาศก่อนแล้วนำค่าที่ได้ไปคูณกับค่า 0.707 ซึ่งสัมพันธ์กับการกระตุ้นได้จากการกระจายอนุกรมไบโนเมียลดังสมการ (2.10) ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมหาค่าต่างๆได้ดังนี้

```

function hbi(lambda) %Function hbi vary by lambda.
an=[126;84;36;9;1];%Excitation coefficients for 10-element binomial array .
m=5;%number of isotropic 10 element.

% Find an*cos[(2n-1)u]
for j=1:180
    step=pi/180;
    th=(j-1)*step;
    for n=1:m
        temp1=(lambda*pi)*cos(th);
        temp2=(2*n-1)*temp1;
        temp3=cos(temp2);
        temp4=an(n,1)*temp3;
        temp5(n,1)=temp4;
    end
end

```

```

AF(j,1)=sum(temp5);%Array factor .
theta(j,1)=th*180/pi; %Theta in degree.
end
AF_log=20*log10(abs(AF));%Array factor in dB

%Find the HPBW
AF_HP BW=max(AF).*0.707;%-3 dB beamwith.
for j=1:180
    if AF(j,1)==max(AF)
        theta_AFmax=theta(j,1);
    end
end
for j=1:180
    if (AF(j,1))<AF_HP BW
        if theta(j,1)<theta_AFmax
            theta11=theta(j,1);
            theta12=theta(j+1,1);
            af11=AF(j,1);
            af12=AF(j+1,1);
        end
    end
end
for j=1:180
    if (AF(j,1))<AF_HP BW
        if theta(j,1)>theta_AFmax
            theta22=theta(j-1,1);
            theta21=theta(j,1);
            af22=AF(j-1,1);
            af21=AF(j,1);
            break
        end
    end
end
zeta1=theta11+(((AF_HP BW-af11)/(af12-af11))*(theta12-theta11));
zeta2=theta21+(((AF_HP BW-af21)/(af22-af21))*(theta22-theta21));
HPBW=zeta2-zeta1%Half power beamwidth of binomial array.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

โปรแกรมหาค่าความกว้างของลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) ของกลุ่มสายอากาศดอล์เฟเบอร์

การหาค่าความกว้างของลำคลื่นครึ่งกำลัง (HPBW) ของกลุ่มสายอากาศดอล์เฟเบอร์ มีวิธีหาด้อยกับกลุ่มสายอากาศไบโนเมียลแต่ค่าสัมประสิทธิ์การกระตุ้นของกลุ่มสายอากาศดอล์เฟเบอร์จะขึ้นอยู่กับระดับพูข้าง (SLL) ด้วย ซึ่งสามารถเขียน โปรแกรมได้ดังนี้

```

function hdp(sll,l)%Function hdp vary by sll and l
SLL_di=(10^((sll)/20));%Find SLL in dimensionless.
Z0=cosh((1/9)*acosh(SLL_di));%Find Z0

```

```

%Find excitation coefficients.
a5=Z0^9;
a4=(((-576.*(Z0^7)))+(576*(a5)))/64;
a3=((432.*(Z0^5)-(432*a5)+(112*a4))/16;
a2=(((-120.*(Z0^3)+(120*(a5))-(56*(a4)))+(20*(a3)))/4;
a1=((9*(Z0))-9*(a5)+(7*(a4))-(5*(a3))+(3*(a2)));
a5_normal=a5/a5;
a4_normal=a4/a5;
a3_normal=a3/a5;
a2_normal=a2/a5;
a1_normal=a1/a5;

an=[a1_normal;a2_normal;a3_normal;a4_normal;a5_normal];%Excitation
coefficients
an1=an;
[m,c]=size(an1);

% Find an*cos[(2n-1)u]
for j=1:180
    step=pi/180;
    th=(j-1)*step;
    for n=1:m
        temp1=(pi*1)*cos(th);
        temp2=(2*n-1)*temp1;
        temp3=cos(temp2);
        temp4=an1(n,1)*temp3;
        temp5(n,1)=temp4;
    end
    AF(j,1)=sum(temp5);%Array factor.
    theta(j,1)=th*180/pi; %Theta in degree.
end
AF_log=20*log10(abs(AF));%Find array factor in dB

%find the HPBW.
AF_HPBW=max(AF).*0.707;
for j=1:180
    if AF(j,1)==max(AF)
        theta_AFmax=theta(j,1);
    end
end
for j=1:180
    if AF(j,1)<AF_HPBW
        if theta(j,1)<theta_AFmax
            theta11=theta(j,1);
            theta12=theta(j+1,1);
            af11=AF(j,1);
            af12=AF(j+1,1);
        end
    end
end
end
end

```

```

for j=1:180
    if AF(j,1)<AF_HP BW
        if theta(j,1)>theta_AFmax
            theta22=theta(j-1,1);
            theta21=theta(j,1);
            af22=AF(j-1,1);
            af21=AF(j,1);
            break
        end
    end
end
zeta1=theta11+(((AF_HP BW-af11)/(af12-af11))*(theta12-theta11));
zeta2=theta21+(((AF_HP BW-af21)/(af22-af21))*(theta22-theta21));
HPBW=zeta2-zeta1%Half power beamwidth of Dolp-Tschebyscheff array.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

โปรแกรมหาสภาพเจาะงทิสทางสูงสุด (D_{max}) ของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล

สภาพเจาะงทิสทางสูงสุด ของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียลสามารถหาได้จากสมการ (ค.7) ซึ่งเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```

function direc_bi(lambda) %Function direc_bi vary by lambda.
an=[126;84;36;9;1];%Excitation coefficients for 10-element binomial array .
m=5;%number of isotropic 10 element
% Find an*cos[(2n-1)u]
for j=1:180
    step=pi/180;
    th=(j-1)*step;
    for n=1:m
        temp1=(pi*lambda)*cos(th);
        temp2=(2*n-1)*temp1;
        temp3=cos(temp2);
        temp4=an(n,1)*temp3;
        temp5(n,1)=temp4;
    end
    AF(j,1)=sum(temp5);%Array factor.
    theta(j,1)=th*180/pi; %Theta in degree.
end
AF_POWER2=abs(AF).^2;
for j=1:179
    i=j+1;
    sin_zeta(j,1)=sin(j*pi/180);
    af_POWER2(j,1)=AF_POWER2(j,1)+AF_POWER2(i,1);
end
af=0.5*af_POWER2.*sin_zeta.*pi/180;
a=sum(af);

%Find the maximum directivity(Dmax)

```



```

D=(AF_POWER2)*2/a;
D_log=10*log10(abs(D));
for j=1:180
    if (D_log(j,1)>=-30)
        D_dB(j,1)=D_log(j,1);
    else
        D_dB(j,1)=-inf;
    end
end
Dmax=max(D);
Dmax_dB=10*log10(Dmax)%Maximum directivity in dB.

```

```

%The part of plot graph .
plot(theta,D_dB,'k-')
xlabel('\theta in degree')
ylabel('Directivity in dB')

```

```

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

โปรแกรมหาสภาพเจาะจงทิศทางสูงสุด (D_{max}) ของกลุ่มสายอากาศ คอล์ฟ-เชบีเชฟ

สภาพเจาะจงทิศทางสูงสุดของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟหาได้จากสมการ (ค.11) และสัมประสิทธิ์การกระตุ้นของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟจะขึ้นอยู่กับระดับพูข้าง (SLL) ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```

function direc_dolp(sll,l)%Function direc_dolp vary by sll and l
SLL_di=(10^((sll)/20));%Find SLL in dimensionless
Z0=cosh((1/9)*acosh(SLL_di));%Find Z0
a5=Z0^9;
a4=(-576.*(Z0^7))+(576*(a5))./64;
a3=((432.*(Z0^5)-(432*a5)+(112*a4))./16;
a2=(-120.*(Z0^3)+(120*(a5))-(56*(a4))+(20*(a3)))/4;
a1=((9*(Z0))-(9*(a5))+(7*(a4))-(5*(a3))+(3*(a2)));
a5_normal=a5/a5;
a4_normal=a4/a5;
a3_normal=a3/a5;
a2_normal=a2/a5;
a1_normal=a1/a5;
an=[a1_normal;a2_normal;a3_normal;a4_normal;a5_normal];%Excitation
coefficients
an1=an;
[m,c]=size(an1);

% Find an*cos[(2n-1)u]
for j=1:180
    step=pi/180;
    th=(j-1)*step;
    for n=1:m

```

```

temp1=(pi*1)*cos(th);
temp2=(2*n-1)*temp1;
temp3=cos(temp2);
temp4=an1(n,1)*temp3;
temp5(n,1)=temp4;
end

AF1(j,1)=sum(temp5);%Array factor.
theta(j,1)=th*180/pi; %Theta in degree.
end
AF_POWER2=abs(AF1).^2;
for j=1:179
    i=j+1;
    sin_zeta(j,1)=sin(j*pi/180);
    af_POWER2(j,1)=AF_POWER2(j,1)+AF_POWER2(i,1);
end
af=0.5*af_POWER2.*sin_zeta.*pi/180;
a=sum(af);
D=(AF_POWER2)*2/a;
D_log=(10*log10(abs(D)));
for j=1:180
    if (D_log(j,1)>=-30)
        D_dB(j,1)=D_log(j,1);
    else
        D_dB(j,1)=-inf;
    end
end
end
Dmax=max(D)
Dmax_dB=10*log10(Dmax) %Maximum directivity in dB.

%The part of plot graph.
plot(theta,D_dB,'k')
xlabel('\theta in degree')
ylabel('Directivity in dB')
%%%%%%%%%%%%%%

```

โปรแกรมหาสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศขั้วคู่ที่นำมาจัดเรียงกันแบบไบโนเมียล
เมื่อนำสายอากาศขั้วคู่ 10 อีลีเมนต์มาจัดเรียงกันเป็นกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล สภาพเจาะจง
ทิศทางสามารถหาได้จากสมการ (ค.20) โดยเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```

clear all
close all
clc
an=[126;84;36;9;1];%excitation coefficients.
m=5;%even number of isotropicelement.
for j=1:180
    step=pi/180;
    th(j,1)=(j-1)*step;

```

```

    if th(j,1)==0
        E(j,1)=0;
    else
        E(j,1)=((cos((pi/2)*cos(th(j,1))))./sin(th(j,1))).^2;
    end
end
for j=1:180
    step=pi/180;
    th=(j-1)*step;
    for n=1:m
        temp1=(pi/2)*cos(th);
        temp2=(2*n-1)*temp1;
        temp3=cos(temp2);
        temp4=an(n,1)*temp3;
        temp5(n,1)=temp4;
    end
    AF(j,1)=sum(temp5);%Array factor.
    theta(j,1)=th*180/pi; %Theta in degree.
end

%Find the directivity of AF.
AF_dB=20*log10(AF);
for j=1:180
    if AF_dB(j,1)<0
        AF_dB(j,1)=inf;
    end
end
end
AF_POWER2=abs(AF).^2;
u_AF=AF_POWER2;
u_Esingle=E;
u_Etotal=E.*AF_POWER2;
%Find to the directivity of AF.
for j=1:179
    i=j+1;
    sin_zeta(j,1)=sin(j*pi/180);
    U_AF(j,1)=u_AF(j,1)+u_AF(i,1);
end
P_rad=0.5*U_AF.*sin_zeta.*pi/180;
P=sum(P_rad);
D_AF=u_AF*2/P;
D_AF_dB=10*log10(D_AF);
for j=1:180
    if D_AF_dB(j,1)<0
        D_AF_dB(j,1)=inf;
    end
end
end

%Find the directivity of E single element.
for j=1:179
    i=j+1;

```

```

sin_zeta(j,1)=sin(j*pi/180);
U_Esingle(j,1)=u_Esingle(j,1)+u_Esingle(i,1);
end
P_rad=0.5*U_Esingle.*sin_zeta.*pi/180;
P=sum(P_rad);
D_Esingle=u_Esingle*2/P;
D_Esingle_dB=10*log10(D_Esingle);
for j=1:180
    if D_Esingle_dB(j,1)<0
        D_Esingle_dB(j,1)=inf;
    end
end
for j=1:179
    i=j+1;
    sin_zeta(j,1)=sin(j*pi/180);
    U_Etotal(j,1)=u_Etotal(j,1)+u_Etotal(i,1);
end
P_rad=0.5*U_Etotal.*sin_zeta.*pi/180;
P=sum(P_rad);
D_Etotal=u_Etotal*2/P;
D_Etotal_dB=10*log10(D_Etotal);
for j=1:180
    if D_Etotal_dB(j,1)<0
        D_Etotal_dB(j,1)=inf;
    end
end
Dmax_AF=max(D_AF);
Dmax_AF_dB=10*log10(Dmax_AF)
Dmax_Esingle=max(D_Esingle);
Dmax_Esingle_dB=10*log10(Dmax_Esingle)
Dmax_Etotal=max(D_Etotal);
Dmax_Etotal_dB=10*log10(Dmax_Etotal) %Maximum directivity of array dipole
                                     with 10 element.

%The part of plot graph.
plot(theta,D_AF_dB,'k:',theta,D_Esingle_dB,'k--',theta,D_Etotal_dB,'k-')
xlabel('\theta in degree')
ylabel('Directivity in dB')
legend('Directivity of bonormal Array with 10 element','Directivity of Single
Dipole','Directivity of Array with 10 Dipole')

```

โปรแกรมหาสภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศขั้วคู่ที่นำมาจัดเรียงกันแบบคอลล์-เซ บีเชฟ

เมื่อนำสายอากาศขั้วคู่ 10 อีลีเมนต์มาจัดเรียงกันเป็นกลุ่มสายอากาศคอลล์-เซบีเชฟ สภาพเจาะจง
ทิศทางสามารถหาได้จากสมการ (ค.20) เหมือนกันกับกลุ่มสายอากาศไบโนเมียล แต่สัมประสิทธิ์
การกระตุ้นจะต่างกัน โดยเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```
clear all
close all
clc
an=[2.798;2.496;1.974;1.357;1];%excitation coefficients
m=5;%even number of isotropicelement.
for j=1:180
    step=pi/180;
    th(j,1)=(j-1)*step;

    if th(j,1)==0
        E(j,1)=0;
    else
        E(j,1)=((cos((pi/2)*cos(th(j,1))))/sin(th(j,1))).^2;
    end
end
for j=1:180
    step=pi/180;
    th=(j-1)*step;
    for n=1:m
        temp1=(pi/2)*cos(th);
        temp2=(2*n-1)*temp1;
        temp3=cos(temp2);
        temp4=an(n,1)*temp3;
        temp5(n,1)=temp4;
    end
    AF(j,1)=sum(temp5);%Array factor.
    theta(j,1)=th*180/pi;%Theta in degree.
end

%Find of the maximum directivity(Dmax)
AF_dB=20*log10(AF);
for j=1:180
    if AF_dB(j,1)<0
        AF_dB(j,1)=inf;
    end
end
end
AF_POWER2=abs(AF).^2;
u_AF=AF_POWER2;
u_Esingle=E;
u_Etotal=E.*AF_POWER2;
```

```

%Find the directivity of AF.
for j=1:179
    i=j+1;
    sin_zeta(j,1)=sin(j*pi/180);
    U_AF(j,1)=u_AF(j,1)+u_AF(i,1);
end
P_rad=0.5*U_AF.*sin_zeta.*pi/180;
P=sum(P_rad);
D_AF=u_AF*2/P;
D_AF_dB=10*log10(D_AF);
for j=1:180
    if D_AF_dB(j,1)<0
        D_AF_dB(j,1)=inf;
    end
end

%Find the directivity of E single element.
for j=1:179
    i=j+1;
    sin_zeta(j,1)=sin(j*pi/180);
    U_Esingle(j,1)=u_Esingle(j,1)+u_Esingle(i,1);
end
P_rad=0.5*U_Esingle.*sin_zeta.*pi/180;
P=sum(P_rad);
D_Esingle=u_Esingle*2/P;
D_Esingle_dB=10*log10(D_Esingle);
for j=1:180
    if D_Esingle_dB(j,1)<0
        D_Esingle_dB(j,1)=inf;
    end
end

%Find the directivity of array dipole with 10 element..
for j=1:179
    i=j+1;
    sin_zeta(j,1)=sin(j*pi/180);
    U_Etotal(j,1)=u_Etotal(j,1)+u_Etotal(i,1);
end
P_rad=0.5*U_Etotal.*sin_zeta.*pi/180;
P=sum(P_rad);
D_Etotal=u_Etotal*2/P;
D_Etotal_dB=10*log10(D_Etotal);
for j=1:180
    if D_Etotal_dB(j,1)<0
        D_Etotal_dB(j,1)=inf;
    end
end
Dmax_AF=max(D_AF);
Dmax_AF_dB=10*log10(Dmax_AF)

```

```

Dmax_Esingle=max(D_Esingle);
Dmax_Esingle_dB=10*log10(Dmax_Esingle) %Maximum directivity of E single
                                     %element.
Dmax_Etotal=max(D_Etotal);
Dmax_Etotal_dB=10*log10(Dmax_Etotal) %Directivity of array dipole with 10-
element.

%The part of plot graph.
plot(theta,D_AF_dB,'k:',theta,D_Esingle_dB,'k--',theta,D_Etotal_dB,'k-')
xlabel('\theta in degree')
ylabel('Directivity in dB')
legend('Directivity of Dolph-Tschebyscheff Array with 10 element','Directivity of
Single Dipole','Directivity of Array with 10 Dipole')
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

โปรแกรมหาสัมประสิทธิ์การกระตุ้นของกลุ่มสายอากาศ คอล์ฟ-เชบีเชฟ 10 อีลีเมนต์
สัมประสิทธิ์การกระตุ้นของกลุ่มสายอากาศคอล์ฟ-เชบีเชฟวิเคราะห์ได้ตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.2
ซึ่งเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

```

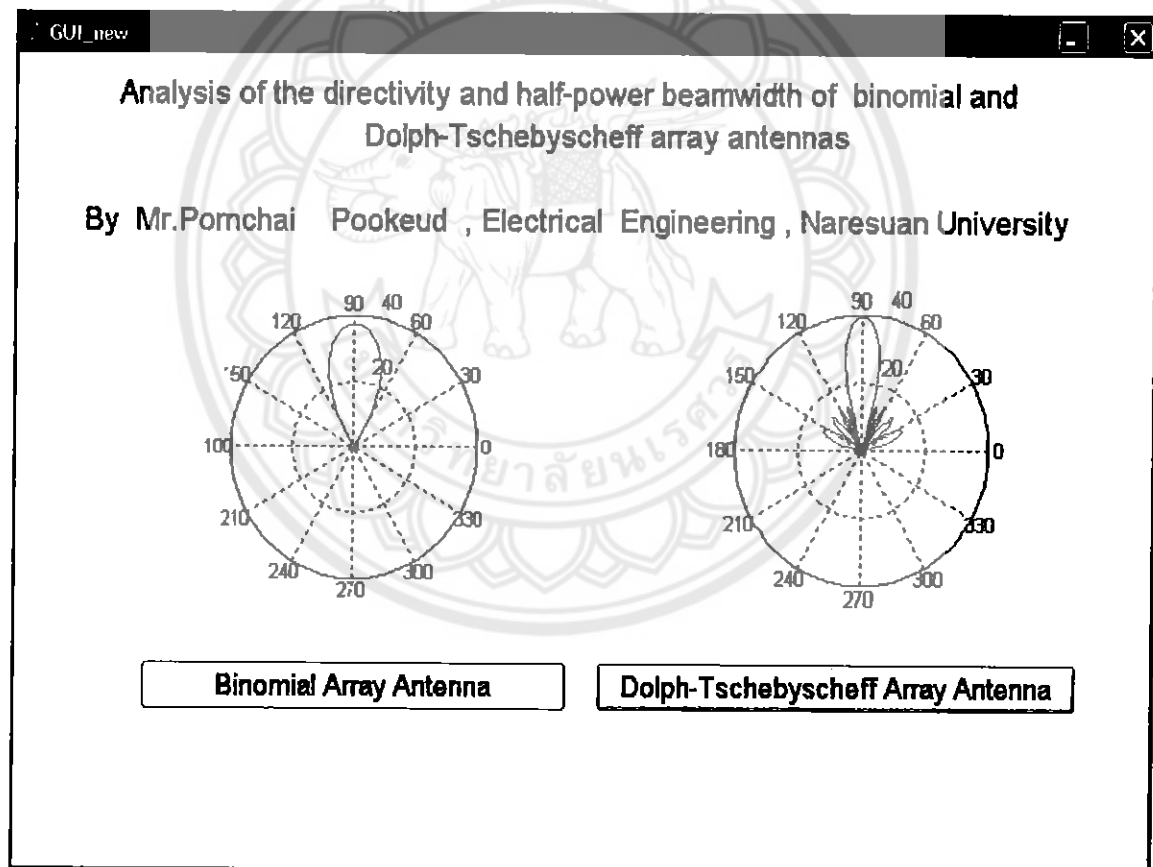
function find_an(SLL_dB)%Function find_an vary by side lobe level (SLL_dB).
    SLL_di=(10^((SLL_dB)/20));%Find SLL in dimensionless.
    Z0=cosh((1/9)*acosh(SLL_di));%Find Z0
    a5=Z0^9;
    a4=(((-576*(Z0^7)))+(576*(a5)))/64;
    a3=((432*(Z0^5)-(432*a5)+(112*a4))/16;
    a2=(((-120*(Z0^3)+(120*(a5))-(56*(a4)))+(20*(a3)))/4;
    a1=((9*(Z0))-(9*(a5))+(7*(a4))-(5*(a3))+(3*(a2)));
    %Find an in normalized.
    a5_normal=a5/a5;
    a4_normal=a4/a5;
    a3_normal=a3/a5;
    a2_normal=a2/a5;
    a1_normal=a1/a5;
    %Excitation coefficients in normalized.
    an_side=[a1_normal;a2_normal;a3_normal;a4_normal;a5_normal]

```

ภาคผนวก (จ)

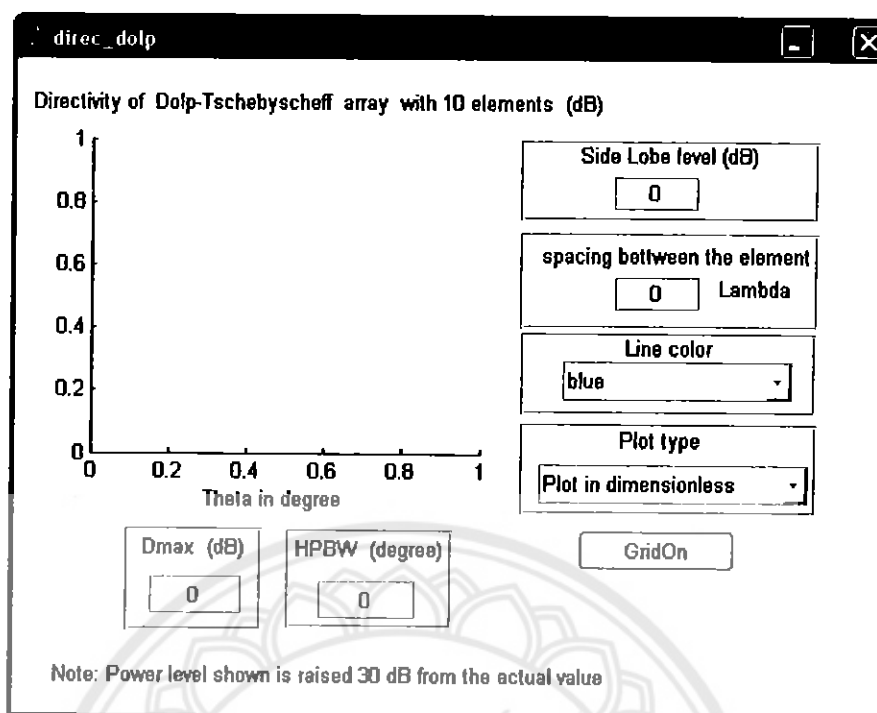
การเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก (Graphic User Interfaces (GUI))

การเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิก (GUI) เป็นการเชื่อมต่อกันระหว่างผู้ใช้และคอมพิวเตอร์โดยคอมพิวเตอร์ได้รับการใช้งานเมื่อผู้ใช้ป้อนข้อมูลผ่านทางคีย์บอร์ด เม้าส์ อย่างใดอย่างหนึ่งให้กับคอมพิวเตอร์ แล้วคอมพิวเตอร์จะแสดงตัวอักษรและกราฟฟิกต่างๆบนจอภาพ รูปที่ จ.1 แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรมวิเคราะห์สภาพเจาะงทศทางและความกว้างลำคลื่นครึ่งกำลังของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียลกับกลุ่มสายอากาศดอล์ฟ-เชบิเชฟโดยใช้ GUI



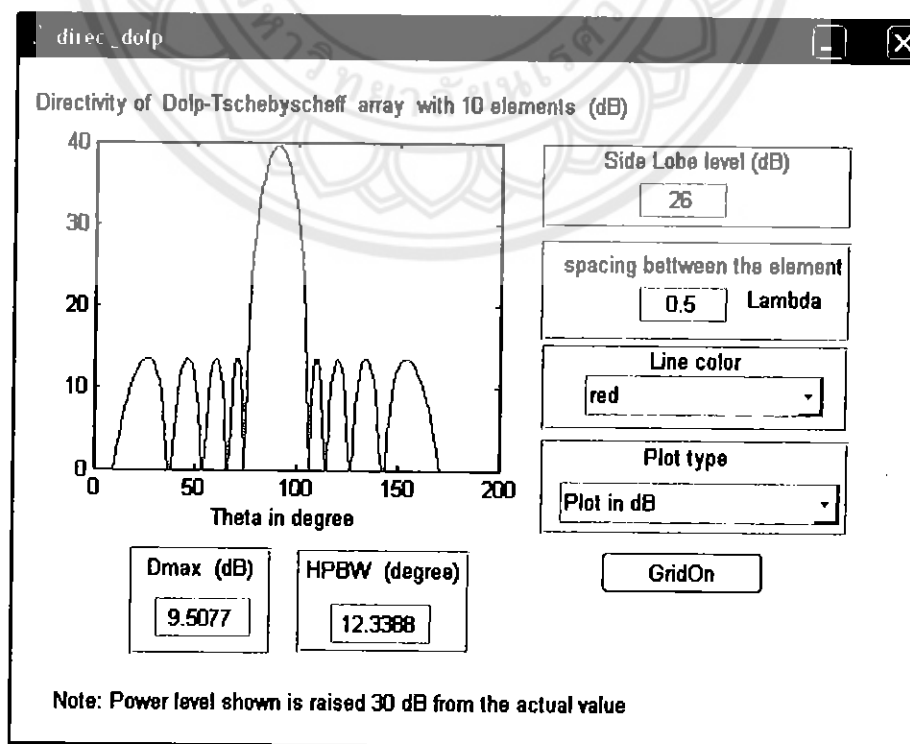
รูปที่ จ.1 หน้าต่างหลักของโปรแกรมวิเคราะห์แบบรูปสภาพเจาะงทศทางของกลุ่มสายอากาศไบโนเมียลและกลุ่มสายอากาศดอล์ฟ-เชบิเชฟ โดยใช้ GUI

เมื่อนำเมาส์คลิกเลือกที่กลุ่มสายอากาศดอล์ฟ-เชบิเชฟ จะปรากฏหน้าจอ ดังรูป จ.2

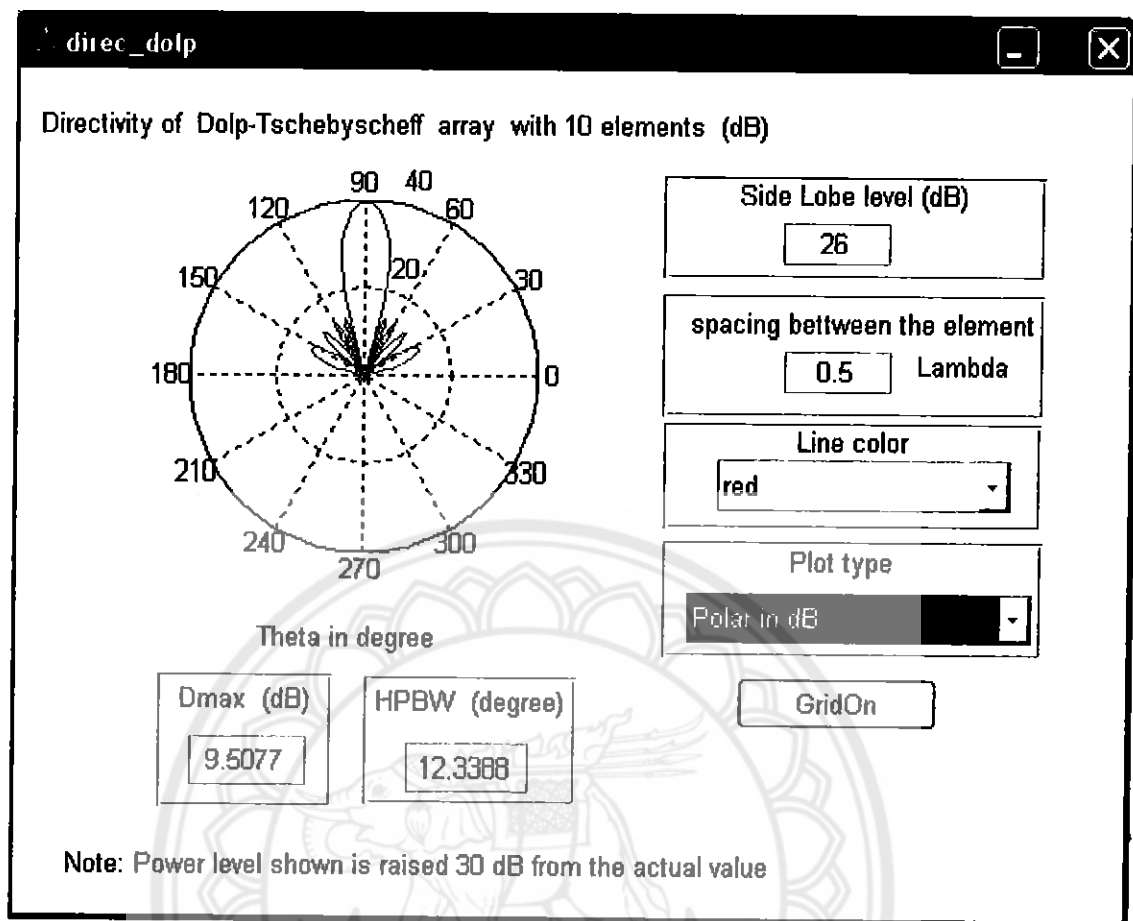


รูปที่ จ.2 หน้าต่าง โปรแกรมวิเคราะห์แบบรูปสภาพเจาะจงทิศทางของกลุ่มสายอากาศดอล์ฟ-เชบิเชฟ โดยใช้ GUI

จากรูป จ.2 เมื่อกำหนดระดับพ่วงข้าง (SLL) และระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์ จะแสดงได้ดังรูป จ.3



ก. กราฟในระบบพิกัดฉาก



ข.กราฟในระบบพิกัดเชิงขั้ว

รูปที่ จ.3 แบบรูปสภาพเจาะจงทิศทางของกลุ่มสายอากาศดอลฟ์-เชบิเชฟ 10 อีลีเมนต์ กำหนดระดับพูข้างเท่ากับ 26 dB ระยะห่างระหว่างอีลีเมนต์เท่ากับ $\lambda/2$ (0.5 λ) โดยใช้ GUI

ในการอ่านค่าตัวเลขที่กำกับในเส้นกราฟรูปที่ จ.3(ก) และ รูปที่ จ.3(ข) จะต้องลดค่าตัวเลขลงมา 30 dB จึงจะได้ค่าที่แท้จริง เนื่องจากขนาดของสภาพเจาะจงทิศทางในรูป dB บางส่วนมีค่าเป็นลบทำให้ไม่สามารถวาดกราฟในระบบพิกัดเชิงขั้วได้ จึงได้ทำการบวกเพิ่มขนาดของสภาพเจาะจงทิศทางไปอีก 30 dB เพื่อขระดับขนาดที่มีค่าติดลบให้เป็นค่าบวก รูปที่ จ.1 , จ.2 และ จ.3 แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศโดยการสร้างการเชื่อมต่อกับผู้ใช้ทางกราฟฟิกขึ้นมานั้น การเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆเพียงแต่เปลี่ยนแปลงค่าในหน้าต่าง GUI โดยไม่จำเป็นต้องเข้าไปแก้ไขในตัวโปรแกรมหลัก ทำให้การวิเคราะห์กลุ่มสายอากาศมีความสะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นายพรชัย พุกอูต

ภูมิลำเนา 31 หมู่ 3 ต. บางโคลน อ. นครไทย จ. พิษณุโลก 65120

ประวัติการศึกษา

-จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบางโคลนวิทยา จังหวัดพิษณุโลก

-ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : p_pookeud@hotmail.com

