



โปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศ

ANTENNAS AIDED DESIGN PROGRAM



โดย

นาย ชิตศักดิ์ ปิ่นราชอำไพ

นาย มนต์สิทธิ์ พิพัฒน์พงษ์เลิศ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปีการศึกษา 2538

หัวข้อปริญญานิพนธ์ โปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศ
(Antennas Aided Design Program)

โดย นาย ชิตศักดิ์ ปิ่นราชอำไพ รหัส 36012050 2M
นาย มนต์สัณห์ พิพัฒน์พงษ์เลิศ รหัส 36012064 2M

ภาควิชา .เทคนิคอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ มนชนก ศรีเสือขาม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
นับปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้เป็นหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... อ.ที่ปรึกษา
(มนชนก ศรีเสือขาม.....)

..... กรรมการ
(.....)

..... กรรมการ
(.....)

..... กรรมการ
(.....)

..... กรรมการ
(.....)

หัวข้อปริญญานิพนธ์	โปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศ		
นักศึกษา	นาย ชิตศักดิ์	ปิ่นราชอำไพ	36012050
	นาย มนต์สัณฑ์	พิพัฒน์พงษ์เลิศ	36012064
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ มนชนก ศรีเลื้อขาม		
ระดับการศึกษา	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต		
ปีการศึกษา	2538		

บทคัดย่อ

ในปริญญานิพนธ์นี้จะเป็นการประยุกต์ใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล มาช่วยในการออกแบบสายอากาศให้ทำได้ง่ายขึ้น โดยใช้ลักษณะการจำลองและการคำนวณโครงสร้างของสายอากาศ, การวิเคราะห์คุณลักษณะสายอากาศ รวมถึงลักษณะของแพตเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศ ทำให้สามารถปรับแต่งคุณลักษณะของสายอากาศได้ ก่อนที่จะนำประยุกต์สร้างสายอากาศใช้งานจริงต่อไป โดยใช้ภาษาซีในการพัฒนาโปรแกรม

PROJECT ANTENNAS AIDED DESIGN PROGRAM

NAME MR. CHITSAK PINRAJAMPAI 36012050
MR. MONSAN PIPATPONGLERT 36012064

ADVISOR MISS MONCHANOK SRISUERKHAM

LEVEL OF STUDY BACHELOR'S DEGREE IN INDUSTRIAL
(TELECOMMUNICATION TECHNOLOGY)

ACADEMIC YEAR 1995

ABSTRACT

This project is an application of personal microcomputer to aid design antennas via simulation, calculation the construct of antennas and analysing characteristic of antennas. It can be improved characteristic of antennas, before that application to create antennas. This program are developed by C language.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

ABSTRACT

สารบัญ

สารบัญรูป

สารบัญตาราง

บทที่ 1 บทนำ

- | | |
|-----------------------------------|-----|
| 1.1 แนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์ | 1-1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์ | 1-2 |
| 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ | 1-2 |

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของสายอากาศ

- | | |
|--------------------------------------|------|
| 2.1 บทนำ | 2-1 |
| 2.2 มูลฐานของสายอากาศ | 2-1 |
| 2.3 สายอากาศไดโพล (Dipole antenna) | 2-5 |
| 2.4 สายอากาศอาร์เรย์ (Array antenna) | 2-15 |
| 2.5 สายอากาศยาคิ (Yagi-Uda antenna) | 2-20 |

บทที่ 3 การออกแบบสายอากาศยาคิไดโพล

- | | |
|---|-----|
| 3.1 บทนำ | 3-1 |
| 3.2 การออกแบบสายอากาศยาคิ | 3-1 |
| 3.3 การออกแบบสายอากาศยาคิตามวิธีของ NBS | 3-7 |

บทที่ 4 การออกแบบและใช้งานโปรแกรม

- | | |
|---|-----|
| 4.1 บทนำ | 4-1 |
| 4.2 การออกแบบโปรแกรม | 4-1 |
| 4.3 ทฤษฎีและส่วนประกอบที่จำเป็นในการใช้งานโปรแกรม | 4-4 |
| 4.4 แนะนำวิธีการใช้งานโปรแกรม | 4-5 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 ผลการทดสอบโปรแกรม

5.1 บทนำ	5-1
5.1 การทดสอบโปรแกรม	5-1
5.2 การทดสอบโปรแกรมเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิง	5-10

บทสรุปและวิจารณ์

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงรูปร่างของแพดเทิร์นการแพร่คลื่นโดยทั่วไป	2-2
รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า	2-4
รูปที่ 2.3 แสดงการกระจายของกระแสและระบบแกนประสานของ สายอากาศไดโพลอุดมคติ	2-5
รูปที่ 2.4 แพดเทิร์นการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลอุดมคติ	2-7
รูปที่ 2.5 สายอากาศไดโพลสั้น	2-9
รูปที่ 2.6 การกระจายของกระแสบนสายอากาศไดโพลเมื่อพิจารณา เปรียบเทียบกับ การกระจายของกระแสในสายส่งปลายเปิด	2-10
รูปที่ 2.7 แสดงการกระจายของกระแสสำหรับไดโพลที่ป้อนสัญญาณตรงกลาง	2-10
รูปที่ 2.8 แพดเทิร์นการแพร่คลื่นสำหรับไดโพลตรง	2-12
รูปที่ 2.9-2.12 แอเรย์แฟกเตอร์ของสายอากาศชุดที่มีองค์ประกอบ 2 ตัว และกระแสนองค์ประกอบทั้งสองมีแอมพลิจูดเท่ากัน	2-17
รูปที่ 2.13 Ordinary endfire array ที่มีองค์ประกอบ 5 ตัวซึ่งถูกกระตุ้นด้วย กระแสที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน ระยะห่าง $d=0.45\lambda$ และ $\alpha=0.9\pi$	2-18
รูปที่ 2.14 Handsen-Woodyard endfire array ที่มีองค์ประกอบ 5 ตัวซึ่งถูก กระตุ้นด้วยกระแสที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน ระยะห่าง $d=0.35\lambda$ และ $\alpha=0.9\pi$	2-19
รูปที่ 2.15 แสดงโครงรูปทั่วไปของสายอากาศยาคิ	2-20
รูปที่ 2.16 สายอากาศยาคิที่มีองค์ประกอบ 3 ตัว ตัวซ้ายยาว 0.4781λ ตัว สะท้อนยาว 0.49λ ตัวขว้ายาว 0.45λ ไดโพลแต่ละตัวห่างกัน 0.04λ และตัวนำที่ใช้ทำสายอากาศมีรัศมี 0.001λ	2-21
รูปที่ 3.1 อัตรายายของสายอากาศแบบยาคิไดโพลที่มี 2 ตัวประกอบ	3-2
รูปที่ 3.2 เฟสเซอร์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากตัวประกอบแต่ละตัวในสายอากาศ แบบยาคิไดโพล	3-3

	หน้า
รูปที่ 3.3 การเพิ่มขึ้นของอัตราขยายเมื่อจำนวนตัวประกอบมากขึ้น	3-4
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างโครงสร้างของสายอากาศแบบยาคีโคโพลที่มี $Z_{in} = 50 \Omega$	3-5
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างโครงสร้างของสายอากาศยาคีโคโพลที่ใช้โคโพลแบบห่วยเป็นตัวป้อนและมีแบนด์วิดท์ 10%	3-6
รูปที่ 3.6 แสดงผลการทดลองหาอัตราขยายของสายอากาศยาคีโคโพลสำหรับระยะห่างต่างๆกันระหว่างรีเฟล็กเตอร์และครีเวนอิลิเมนต์ โดยทดลองที่ความสูงจากพื้นดินประมาณ 2λ	3-8
รูปที่ 3.7 แสดงการจัดรีเฟล็กเตอร์ 3 อันเป็นรูปสามเหลี่ยมตามการทดลองของ NBS เพื่อให้ได้อัตราขยายเพิ่มขึ้นสูงกว่าการใช้รีเฟล็กเตอร์อันเดียวอยู่ 0.75 dB	3-10
รูปที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของยาคีโคโพลสำหรับความยาวมุม 6 ขนาดเมื่อจัดความยาวของโคเรกเตอร์แต่ละอันให้เหมาะสมเพื่อให้ได้อัตราขยายสูงสุด	3-11
รูปที่ 3.9 กราฟช่วยการออกแบบสายอากาศยาคีโคโพลของ NBS	3-15
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความยาวของอิลิเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้นจากการทดลองของ NBS เมื่อชิดอิลิเมนต์ทะลุผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบวมกลม	3-16
รูปที่ 3.11 แสดงครีเวนอิลิเมนต์และวิธีการแมตช์แบบต่างๆที่นิยมใช้กับสายอากาศยาคีโคโพล	3-17
รูปที่ 3.12 แสดงรายละเอียดของบาลูนแบบต่างๆที่สร้างได้ง่ายและนิยมใช้กันสำหรับระบบอิมพีแดนซ์ 50-โอห์ม	3-18
รูปที่ 3.13 แสดงการใช้กราฟช่วยการออกแบบสายอากาศยาคีโคโพลตามตัวอย่างที่ 1 เพื่อให้ได้สายอากาศ 6 อี สำหรับความถี่ 50.1 Mhz บนบวมยาว 1.2λ	3-19
รูปที่ 3.14 แสดงผลการออกแบบสายอากาศยาคีโคโพล 6 อี สำหรับความถี่ 50.1 Mhz บนบวม 1.2λ ใช้ท่ออลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 ซม.	3-20
รูปที่ 4.1 แสดงแผนภูมิสายงาน(Flow Chart) หลักของโปรแกรม	4-2
รูปที่ 4.2 แสดงแผนภูมิสายงาน(Flow Chart) ช่วยออกแบบสายอากาศ	4-3

	หน้า
รูปที่ 4.3 แสดงหน้าจอเมนูเบื้องต้นเมื่อเรียกใช้โปรแกรม	4-5
รูปที่ 4.4 แสดงเมนูเพิ่มและเมนูย่อยในเมนูเพิ่ม	4-6
รูปที่ 4.5 แสดงเมนูชนิดและเมนูย่อยในเมนูชนิด	4-7
รูปที่ 4.6 แสดงเมนูแสดงและเมนูย่อยในเมนูแสดง	4-8
รูปที่ 4.7 แสดงเมนูเปลี่ยนค่าตัวแปรและเมนูย่อยในเมนูเปลี่ยนค่าตัวแปร	4-9
รูปที่ 4.8 แสดงเมนูคำนวณและเมนูย่อยในเมนูคำนวณ	4-10
รูปที่ 4.9 แสดงการป้อนข้อมูลและผลการคำนวณ	4-11
รูปที่ 4.10 แสดงการพล็อตแพตเทิร์น(Pattern)สายอากาศ	4-11
รูปที่ 5.1 แสดงผลการคำนวณและพล็อตแพตเทิร์นการแผ่คลื่น E-plane ของสายอากาศไดโพลสั้น	5-2
รูปที่ 5.2 แสดงผลการคำนวณและพล็อตแพตเทิร์นการแผ่คลื่น E-plane ของสายอากาศไดโพลวัดตัวนำยาว	5-3
รูปที่ 5.3 แสดงผลการออกแบบสายอากาศยาคี 6 อี สำหรับความถี่ 50.1 Mhz บนบูม 1.2λ ใช้ท่ออูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3 ซม.	5-6
รูปที่ 5.4 แสดงผลการคำนวณและพล็อตแพตเทิร์นการแผ่คลื่น E-plane และ H-plane สายอากาศยาคีไดโพลโดยโปรแกรม	5-8
รูปที่ 5.5 แสดงแพตเทิร์นการแผ่คลื่น E-plane และ H-plane สายอากาศยาคีไดโพลจาก[2]	5-9
รูปที่ 5.6 แสดงสายอากาศยาคีที่ใช้ในการทดลอง	5-10
รูปที่ 5.7 แสดงแผนภาพของอุปกรณ์วัดแพตเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศ	5-11
รูปที่ 5.8 แสดงแผนภาพของอุปกรณ์วัดอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ	5-11
รูปที่ 5.9 แสดงแพตเทิร์นการแผ่คลื่นใน E-plane ของสายอากาศยาคีที่ได้จากการทดลอง	5-13
รูปที่ 5.10 แสดงแพตเทิร์นการแผ่คลื่นใน E-plane ของสายอากาศยาคีที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม	5-13

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	แสดงความยาวที่เหมาะสมของแต่ละอิลิเมนต์สำหรับสายอากาศวิทยุที่มีความยาวของบูมต่างกัน 6 ขนาด ตามผลการทดลองของ NBS ในทุกกรณีนี้ รีเฟลคเตอร์อยู่ห่างจากครีเวนอิลิเมนต์ 0.2 λ และเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอิลิเมนต์เป็น 0.0085 λ	3-12
ตารางที่ 5.1	แสดงข้อมูลจากการทดลองวัดอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศวิทยุที่มีความถี่ต่างๆ	5-14
ตารางที่ 5.2	เปรียบเทียบค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม	5-15

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวความคิดในการทำปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ที่มนุษย์สร้างขึ้นมาได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วมาก รวมถึงการนำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้เพื่อการคำนวณและออกแบบด้วยเช่นกัน การพัฒนาซอฟต์แวร์ส่วนมากเป็นไปในรูปของการเขียนโปรแกรมเฉพาะจุดที่สนใจ ดังเช่น ตำราการสอนวิชาสายอากาศ (Antenna Theory and Design) [2] ก็ได้ให้ซับรูทีน (Sub routine) ต่างๆ ไว้ สำหรับคำนวณอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพล ซึ่งใช้วิธีโมเมนต์ (Moment method) ในการคำนวณ ถ้าหากไม่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยแล้วจะทำให้เกิดความยุ่งยากและเสียเวลามาก นอกจากนั้น[2] ยังมีซับรูทีน สำหรับพล็อตแอมพลิจูดแฟกเตอร์ (Array factor) แบบต่างๆ ตลอดจนซับรูทีนสำหรับคำนวณและพล็อตแพตเทิร์นการแผ่คลื่น แต่ซับรูทีนต่างๆ ที่กล่าวถึงก็ยังมีความยุ่งยากในการนำไปใช้งาน เนื่องจากถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นภาษาฟอร์แทรน (FORTRAN) ซึ่งเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่เก่าและมีความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม อีกทั้งตัวภาษาเองก็มีประสิทธิภาพด้อยกว่าภาษาคอมพิวเตอร์ใหม่ๆ ที่พัฒนาขึ้นมาในระยะหลังดังจะเห็นได้จากการพล็อตแพตเทิร์นการแผ่คลื่น ซึ่งการพล็อตกระทำแบบตัวอักษร ถ้าหากใช้ภาษาใหม่ๆ แล้วจะสามารถพล็อตในแบบกราฟฟิกที่ให้รายละเอียดและสวยงามมากกว่ามาก

นอกจากนั้น ได้มีผู้รวบรวมซอฟต์แวร์เกี่ยวกับสายอากาศไว้ในหนังสือโปรแกรมทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์[3] ซอฟต์แวร์ที่มีเป็นโปรแกรมง่ายๆ เกี่ยวกับการคำนวณหาความถี่การใช้งานของสายอากาศไดโพลเมื่อกำหนดความยาวให้ โปรแกรมจะสร้างตารางระหว่างความถี่กับขนาดของสายอากาศซึ่งช่วยให้การออกแบบทำได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้[3] ยังมีโปรแกรมหาส่วนประกอบวงจรข่าย (Component of network) สำหรับใช้แมตซ์สายอากาศ โปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศที่ใช้กับรถยนต์ สายอากาศที่ใช้กับดาวเทียมซึ่งเป็นสายอากาศชนิดสะท้อนคลื่นแบบพาราโบลิก (Parabolic reflector antenna) โปรแกรมเหล่านี้เขียนขึ้นเป็นภาษาเบสิก (BASIC) ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้ง่ายและประสิทธิภาพพอใช้ได้เพียงระดับหนึ่ง ยังมีภาษาคอมพิวเตอร์

อีกหลายภาษาเช่น ภาษาปาสคาล, ภาษาซี เป็นต้น ที่เป็นภาษาระดับสูงซึ่งมีความสามารถในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณได้,มีความรวดเร็วในการคำนวณทั้งยังมีประสิทธิภาพสูง ทำให้มีความง่ายต่อการพัฒนาใน
ขั้นสูงขึ้นไปอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

- 1). เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของสายอากาศแบบต่างๆ แล้วนำไปประยุกต์ใน
การพัฒนาและการใช้งานให้กว้างขึ้น
- 2). เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้งานคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบสายอากาศ
- 3). เพื่อช่วยให้การออกแบบสายอากาศสามารถทำได้ง่ายขึ้น
- 4). เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นสื่อประกอบในการเรียนการสอนวิชาสายอากาศ (Antenna
and Radio-wave Propagation)
- 5). เพื่อเสริมสร้างงานวิจัยและเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคตให้ดีขึ้น

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นประยุกต์ใช้งานคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล(personal computer) มา
ช่วยในการออกแบบสายอากาศ โดยจะเน้นการออกแบบสายอากาศยาเก(Yagi-Uda Antenna) ,
การวิเคราะห์คำนวณเพื่อแสดงคุณสมบัติของสายอากาศที่ออกแบบ ได้แก่ อินพุทอิมพีแดนซ์,
ชาร์พเพาเวอร์บีมวิดท์, ค่า F/B ratio, ค่า VSWR และแพตเทิร์นการแผ่คลื่น เป็นต้น และรวมไปถึง
สายอากาศชนิดอื่นได้แก่ สายอากาศไดโพลสั้น(Small Dipole) และสายอากาศไดโพลลดตัวนำ
ยาว(Long Wire Dipole) โดยใช้ลักษณะการป้อนค่าส่วนประกอบต่างๆของสายอากาศให้แล้วทำ
การวิเคราะห์ต่อไป

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีสายอากาศ

2.1 บทนำ

ในการออกแบบสายอากาศนั้น โดยทั่วไปจะต้องมีการวิเคราะห์และสังเคราะห์สายอากาศ เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งทั้งนี้จะต้องพิจารณาดูคุณสมบัติการแพร่คลื่นให้เป็นไปตามความต้องการ แต่ก่อนที่จะกล่าวถึงการออกแบบเราจำเป็นต้องทราบทฤษฎีและพารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศก่อน เพื่อเป็นการทบทวนและประกอบความเข้าใจต่อไป

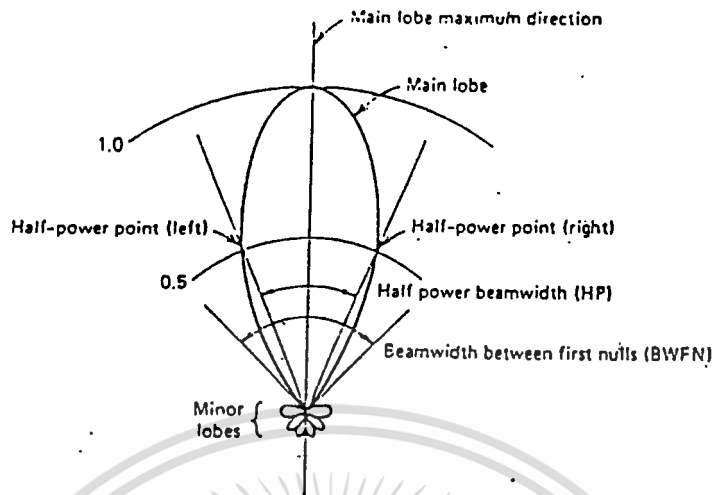
2.2 มูลฐานของสายอากาศ

คุณสมบัติการแพร่คลื่นของสายอากาศสามารถอธิบายได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า (Electrical field) และสนามแม่เหล็ก (Magnetic field) รอบๆสายอากาศ รูปลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเรียกว่า แพตเทิร์นการแพร่คลื่น (Radiation pattern)

แพตเทิร์นการแพร่คลื่นในบริเวณที่ใกล้สายอากาศ (Near-field region) กับในบริเวณที่อยู่ไกลจากสายอากาศ (Far-field region) มีลักษณะต่างกัน ทั้งนี้เพราะว่าบริเวณที่อยู่ใกล้สายอากาศมีการสะสมพลังงานมากกว่าบริเวณที่อยู่ไกลจากสายอากาศ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในบริเวณที่อยู่ไกลจากสายอากาศมีลักษณะเป็นคลื่นระนาบ (Plane wave) กล่าวคือ สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น สำหรับในงานโครงการที่เราเกี่ยวข้องกับการหาคุณสมบัติของสายอากาศในบริเวณที่อยู่ไกลไปจากสายอากาศซึ่งในบริเวณเหล่านี้ รูปร่างของแพตเทิร์นการแพร่คลื่นจะไม่เปลี่ยนแปลงกับระยะทาง รูปร่างของแพตเทิร์นการแพร่คลื่นโดยทั่วไปแสดงไว้ในรูปที่ 2.1

แพตเทิร์นการแพร่คลื่นในทิศที่ต้องการจะมีลักษณะเป็นลำคลื่น (Beam) หรือที่เรียกว่า โลบ (Lobe) โลบต่างๆที่แสดงอยู่ในรูปที่ 2.1 ได้แก่

1. โลบหลัก (Main lobe) คือ โลบการแพร่คลื่นที่มีทิศทางการแพร่คลื่นสูงสุดอยู่ด้วย โดยทั่วไปโลบหลักจะเป็นโลบที่เราประสงค์ให้เกิดขึ้นในทิศที่ต้องการ
2. โลบรอง (Minor lobe) คือ โลบการแพร่คลื่นใดๆที่ไม่ใช่โลบหลัก นอกจากนี้เรายังเรียกโลบการแพร่คลื่นไปทิศอื่นที่ไม่ใช่ทิศของโลบหลักว่า โลบข้าง (Side lobe)



รูปที่ 2.1 แสดงรูปร่างของแพทเทิร์นการแพร่คลื่นโดยทั่วไป

3. บีมวิดท์ (beam width) คือค่าที่แสดงความกว้างแคบกว้างแฉกของเมนบีม โดยกำหนดให้เป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างจุดที่มีค่าเท่ากับ 0.5 ในเมนบีมของเพาเวอร์แพทเทิร์น หรือมุมที่เกิดขึ้นระหว่างจุด $1/\sqrt{2}$ ในเมนบีมของฟิลด์แพทเทิร์น

4. อัตราส่วนระหว่างหน้าต่อหลัง (front-to-back ratio) คือค่าอัตราส่วนของสนามไฟฟ้าในทิศข้างหน้ากับสนามไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุดในทิศทางตรงข้าม $\pm 60^\circ$ กล่าวคือ ถ้าเราให้ทิศทางข้างหน้าเป็น 0° และสนามไฟฟ้าในทิศนั้นเป็น E_F อัตราส่วนระหว่างหน้าต่อหลังจะเป็นอัตราส่วนระหว่าง E_F กับ E ที่สูงที่สุดในช่วง $180^\circ \pm 60^\circ$ ซึ่งให้เท่ากับ E_B โดยทั่วไปแล้ว ค่า FBR จะแสดงในรูป dB ดังนี้

$$\text{FBR} = 20 \log (E_F/E_B) \quad (\text{dB}) \quad (2.0)$$

แพทเทิร์นของการกระจายคลื่นนั้น นอกจากรูปแบบทำนองเดียวกับรูปที่ 2.1 แล้ว ในบางกรณีจะมีรูปทรงพิเศษอย่างที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้คือ สำหรับแพทเทิร์น ที่เป็นรูปทรงกลมคือค่า $|\overline{D}(\theta, \phi)|$ เท่ากันหมดทุกทิศทาง ซึ่งเป็นแพทเทิร์นที่ได้มาจากแหล่งกำเนิดคลื่นแบบจุด (point source) นั้นเรียกว่า แพทเทิร์นแบบไอโซโทรปิก สำหรับในกรณีที่แพทเทิร์นในระนาบใดระนาบหนึ่งมีค่าเท่ากันหมด เราเรียกว่าเป็นแพทเทิร์นแบบวงกลม (omnidirectional pattern) ตัวอย่าง

ของแพตเทิร์นแบบนี้ได้แก่ แพตเทิร์นของ E_θ (หรือ H_ϕ) ของสายอากาศโคโพลในระนาบที่ตั้งฉากกับตัวสายอากาศโคโพล

กำลังของคลื่นจะมีอยู่ในโลบหลักมากน้อยแค่ไหนสามารถบอกได้ด้วยค่าระดับโลบข้าง (Sidelobe level เรียกย่อๆ ว่า SLL) ซึ่งมีคำจำกัดความเป็น [2]

$$SLL = \frac{|\text{ค่าสูงสุดโลบรองที่ใหญ่ที่สุด}|}{|\text{ค่าสูงสุดของโลบหลัก}|} \quad (2.1)$$

การวัดความเข้มของกำลังการแผ่คลื่นในโลบหลักยังสามารถบอกได้ด้วยพารามิเตอร์ที่เรียกว่า ความกว้างลำครึ่งกำลัง (Half-power beamwidth) ซึ่งก็คือมุมระหว่างทิศที่ซึ่งความเข้มของโลบหลักมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด ความกว้างลำคลื่นกำลังสามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ

$$HP = |\theta_{hp\text{left}} - \theta_{hp\text{right}}| \quad (2.2)$$

ดังได้กล่าวแล้วว่าที่ระยะไกลๆ จากสายอากาศ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ออกจากสายอากาศเป็นคลื่นระนาบสนามแม่เหล็ก และสนามไฟฟ้าของคลื่นเป็นปริมาณเวกเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาและระยะทาง พฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าที่จุดหนึ่งๆ ในที่ว่างเรียกว่า โพลาริเซชันของคลื่น (Wave polarization)

โพลาริเซชันของคลื่นสามารถแบ่งตามลักษณะทางเดิน (Locus) ของปลายเวกเตอร์สนามไฟฟ้าได้ 3 แบบ คือ

ก.แบบที่เป็นเชิงเส้น (Linear polarization) ได้แก่ แบบที่จุดปลายของ เวกเตอร์สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นเส้นตรง

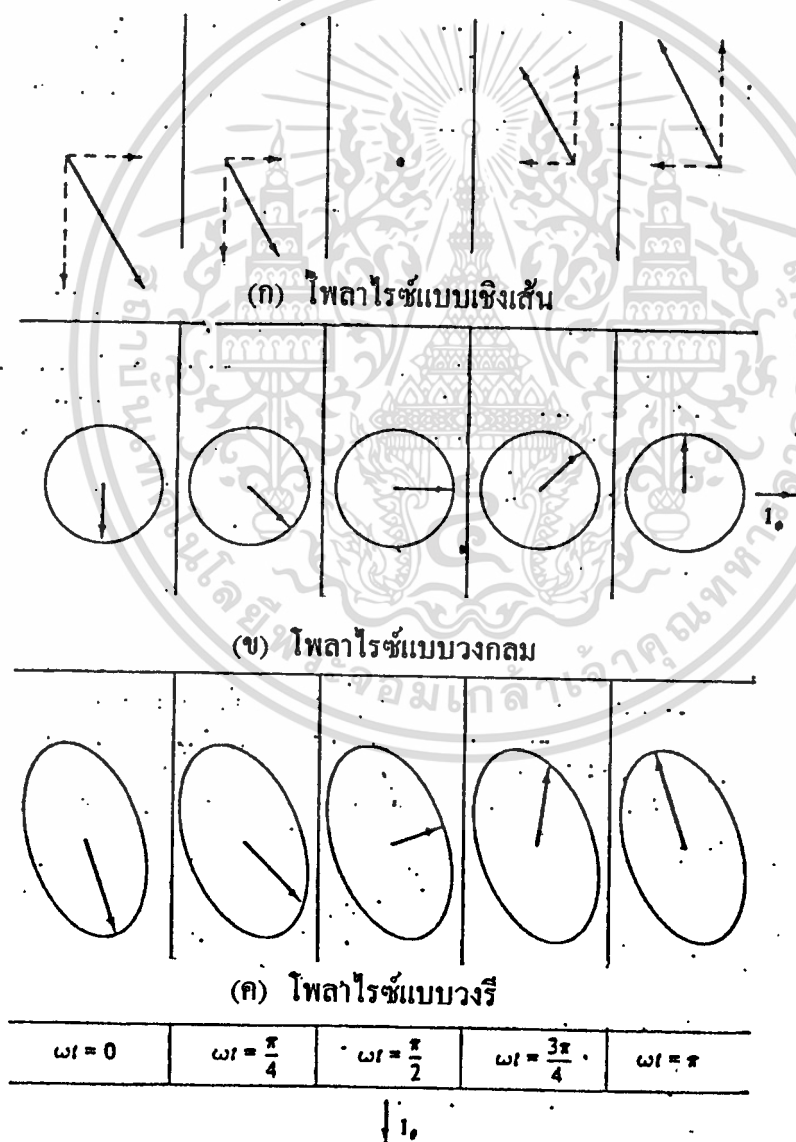
ข.แบบที่เป็นวงกลม (Circular polarization) ได้แก่ แบบที่จุดปลายของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นวงกลม

ค.แบบที่เป็นวงกลม (Elliptical polarization) ได้แก่ แบบที่จุดปลาย ของเวกเตอร์สนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นวงรี

2.3 สายอากาศไดโพล (Dipole Antenna)

สนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กของคลื่นที่แพร่ออกมาจากสายอากาศตัวหนึ่งเกิดจากกระแสที่

ไหลในสายอากาศตัวนี้ เราสามารถกระจายกระแสเป็นตัวกำหนดรูปร่างของแพตเทิร์นการ



รูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของเวกเตอร์สนามไฟฟ้า [7] นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เมื่อ $\beta = 2\pi/\lambda_0$ คือค่าคงตัวเฟสของการแพร่คลื่น (Phase constant)

λ_0 คือความยาวคลื่นในอากาศว่าง

$\hat{a}_\theta$ คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทำมุม θ กับแกน Z

$\hat{a}_\phi$ คือเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทำมุม ϕ กับแกน X

เมื่อให้ r คงที่ $\vec{E}$ และ $\vec{H}$ ที่นอร์มอลไลซ์กับค่าสูงสุดของมันแล้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงกับทิศทางการแสดงอยู่ในรูปที่ 2.4

สังเกตว่าสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชันไซน์กับมุม ในขณะที่ขนาดของสนามแม่เหล็กไม่ขึ้นอยู่กับทิศ ความกว้างลำคลื่นกำลังของไดโพลอุดมคติมีค่าเท่ากับ 90

ความสามารถในการแพร่พลังงานของสายอากาศไปในทิศที่ต้องการ เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้อธิบายคุณสมบัติของสายอากาศ พารามิเตอร์นี้มีชื่อเรียกว่า ไคร์กิตีวตี (directivity แทนด้วยสัญลักษณ์ D) ซึ่งมีค่าจำกัดความเป็น [2]

$$\text{ไคร์กิตีฟตี } D = \frac{\text{ความเข้มของการแพร่คลื่นในทิศทางสูงสุด}}{\text{ความเข้มของการแพร่คลื่นเฉลี่ย}}$$

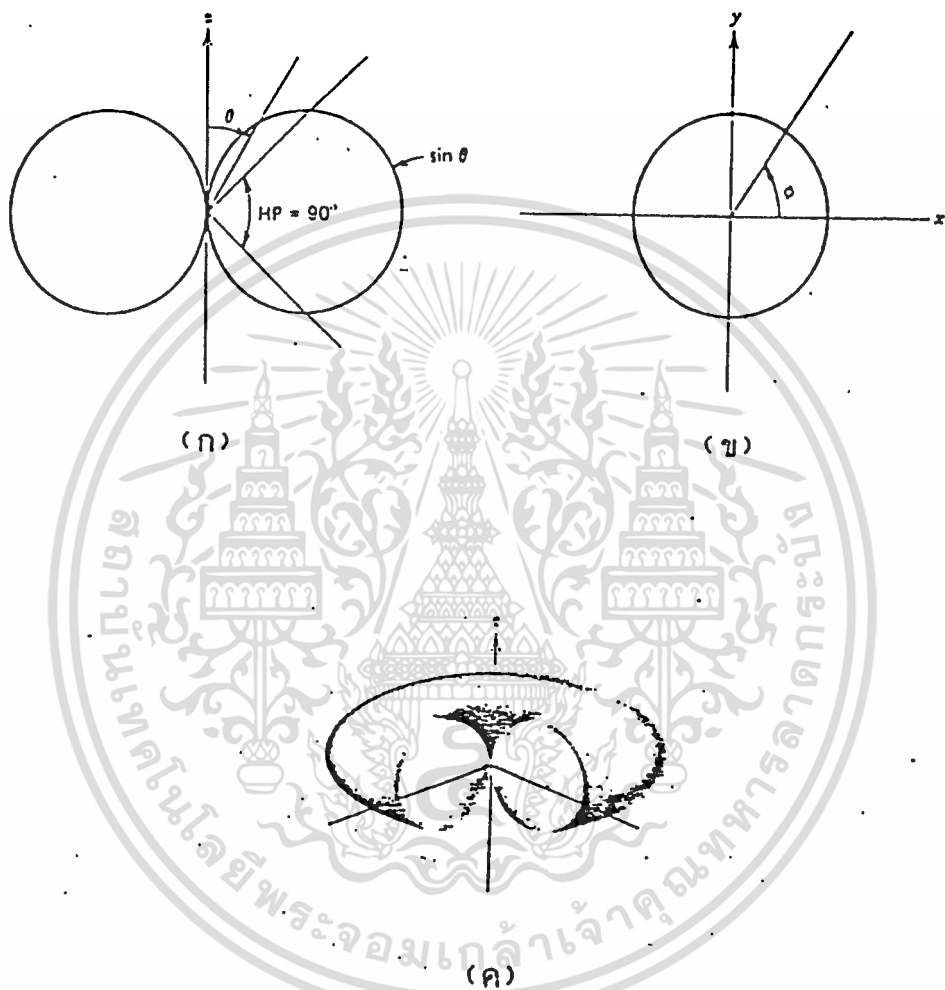
สำหรับสายอากาศไดโพลอุดมคติเราสามารถแสดงได้ว่า

$$D = 3/2 \quad (2.5)$$

ในทางปฏิบัติพลังงานบางส่วนที่จ่ายให้กับสายอากาศสูญเสียไปในโครงสร้างของสายอากาศ แพร่ออกมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแทนด้วย P_r และพลังงานที่จ่ายให้กับสายอากาศแทนด้วย P_{in} แล้วประสิทธิภาพการแพร่คลื่น (Radiation efficiency แทนด้วย e) สามารถเขียนได้เป็น [2]

$$e = P_r/P_{in} \quad (2.6)$$

โดยปกติ $0 < e < 1$



รูปที่ 2.4 แพตเทิร์นการแพร่คลื่นของสายอากาศไดโพลอุดมคติ [2]

- (ก) ในระนาบที่มีสายอากาศอยู่ด้วย ($\bar{E}$ -plane)
- (ข) ในระนาบ xy ($\theta = 90^\circ$) หรือ $\bar{H}$ -plane
- (ค) รูปพล็อตของแพตเทิร์นการแพร่คลื่นใน 3 มิติ

พลังงานจ่ายให้กับสายอากาศอธิบายได้เป็น

$$P_{in} = \frac{1}{2} R_{in} |I_{in}|^2 \quad (2.7)$$

เมื่อ R_{in} คือความต้านทานอินพุต(input resistance) ของสายอากาศ

I_{in} คือกระแสที่เข้าต่อสายอากาศ(Current at the input terminals)

ดังได้กล่าวแล้วว่าพลังงานที่จ่ายให้กับสายอากาศแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่สูญเสียเป็นความร้อนในโครงสร้างของสายเอง กับส่วนที่แพร่ออกไปในสายอากาศในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นสมการที่ (2.7) สามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned} P_{in} &= P_r + P_{ohmic} \\ &= \frac{1}{2} R_{r1} |I_{in}|^2 + \frac{1}{2} R_{ohmic} |I_{in}|^2 \end{aligned} \quad (2.8)$$

เมื่อ R_{r1} คือความต้านทานที่เกี่ยวข้องกับการแผ่คลื่น (Radiation resistance)

R_{ohmic} คือความต้านทานที่เกี่ยวข้องการสูญเสียพลังงาน(Ohmic resistance)

ซึ่งจากสมการ (2.8) เราได้ให้คำจำกัดความของความต้านทาน R_{r1} เป็น

$$R_{r1} = \frac{2P_r}{|I_{in}|^2} \quad (2.9)$$

สำหรับสายอากาศไดโพลอุดมคติที่มีความยาว z และแพร่คลื่นอยู่ในอากาศเราสามารถแสดงได้ว่า [2]

$$R_{r1} = 80\pi^2 (\Delta z / \lambda_0)^2 \quad (2.9)$$

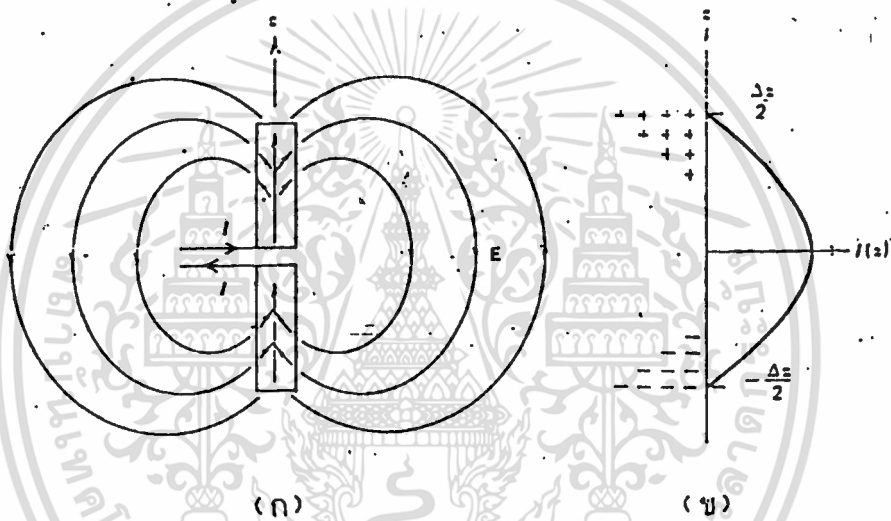
สายอากาศไดโพลสั้น(Short dipole antenna) เป็นสายอากาศไดโพลจริงที่มีความยาวน้อยมาก ($\Delta z \ll \lambda$) การกระจายของกระแสจะเป็นรูปไซน์โดยประมาณ กล่าวคือประจุไฟฟ้าจะออกมาปรากฏที่ผิวลวดในขณะที่กระแสลดลง เมื่อเข้าสู่ปลายของสายอากาศ กระแสกระตุ้นทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แพร่ออกมาจากสายอากาศและเชื่อมโยงสายอากาศส่งคลื่นเข้ากับสายอากาศรับคลื่น

การกระจายของกระแสบนสายอากาศไดโพลสั้นสามารถประมาณให้เป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งมี



พื้นที่เป็นครึ่งหนึ่งของรูปการกระจายของกระแสบนไดโพลอุดมคติ (ดูรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.5 ประกอบ) ด้วยเหตุนี้แพทเทิร์นการแผ่คลื่นของไดโพลทั้งสองจะเหมือนกัน(รวมทั้งไดเรกทิวิตีก็เหมือนกันด้วย) แต่ขนาดสนามจะต่างกันด้วยแฟกเตอร์ 1/2 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งกำลังการแผ่คลื่นจะต่างกันด้วยแฟกเตอร์ 1/4 (ไดโพลสั้นมีกำลังการแผ่คลื่นน้อยกว่า) ดังนั้นความต้านทานที่เกี่ยวข้องกับการแผ่คลื่นจะลดลงเป็น [2]

$$R_{r1} = 20\pi^2(\Delta z/\lambda_0)^2 \quad (2.11)$$

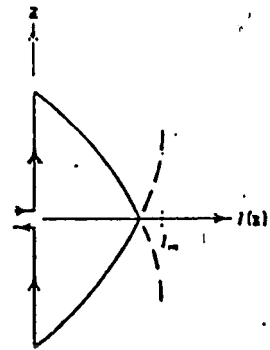
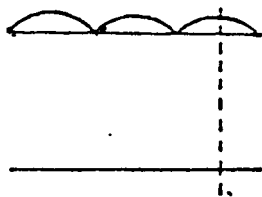


รูปที่ 2.5 สายอากาศไดโพลสั้น

(ก). แสดงกระแสบนสายอากาศและสนามไฟฟ้ารอบๆ สายอากาศ

(ข). แสดงกระจายของกระแสและประจุไฟฟ้าบนสายอากาศ

สายอากาศไดโพลยาว(Long wire antenna) เป็นไดโพลที่มีขนาดยาวเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น และเป็นสายอากาศชนิดที่ง่ายที่สุด ในการหาสนามของสายอากาศชนิดนี้จะต้องทราบการกระจายของกระแสบนสายอากาศก่อน ลักษณะการกระจายของกระแสบนไดโพลยาวสามารถหาได้โดยอาศัยทฤษฎีสายส่ง กล่าวคือเราอาจพิจารณาสายอากาศให้เป็นโครงสร้างที่แปลงมาจากสายส่งปลายเปิด ซึ่งปลายสายแยกออกจากกันดังรูปที่ 2.6



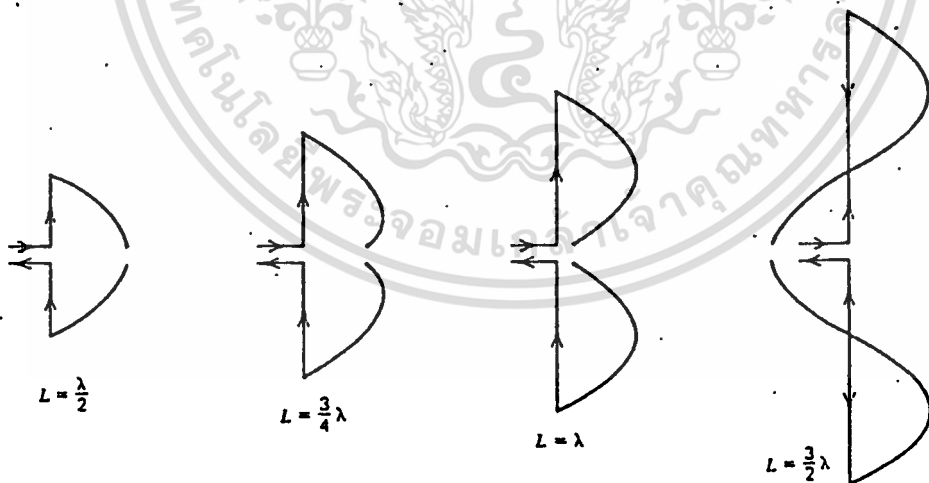
(ก). สายส่งปลายเปิด

(ข). สายอากาศไดโพลที่ได้จากการพับสายส่ง

(ค). การกระจายของกระแสบนไดโพล

รูปที่ 2.6 การกระจายของกระแสบนสายอากาศไดโพลเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับ
การกระจายของกระแสในสายส่งปลายเปิด

การกระจายของกระแสสำหรับไดโพลที่มีความยาวอื่นๆ แสดงไว้ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการกระจายของกระแสสำหรับไดโพลที่ป้อนสัญญาณตรงกลาง

ถ้าสัญญาณที่ป้อนสายอากาศมาจากแหล่งจ่ายคลื่นไซน์ กระแสที่กระจายอยู่บนสายอากาศสามารถเขียนได้เป็น

$$I(z) = I_m \sin[(\beta(L/2 - |z|))] \text{ เมื่อ } |z| < L/2 \quad (2.12)$$

เมื่อ I_m คือค่ากระแสสูงสุดบนสายอากาศ

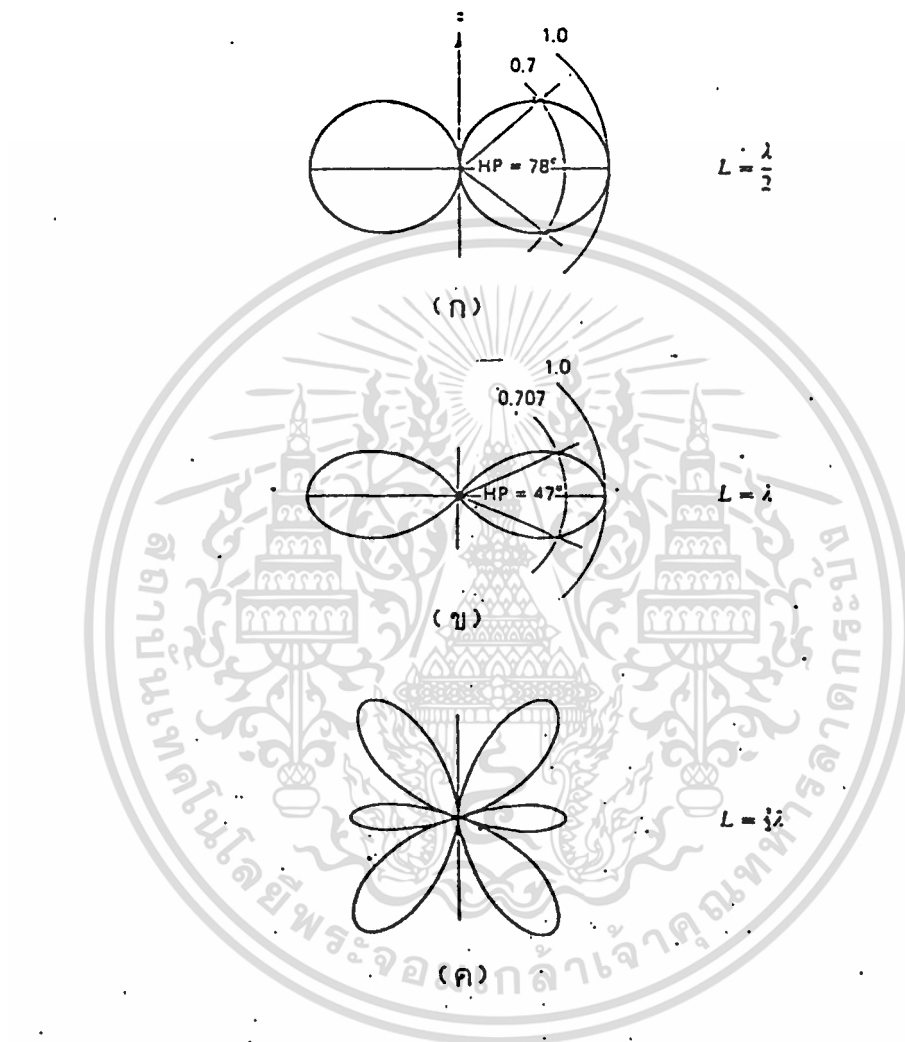
การวิเคราะห์เมื่อหาหาค่าของสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ และสนามแม่เหล็ก $\vec{H}$ ในบริเวณที่อยู่ห่างไกลจากสายอากาศโดยใช้ $I(z)$ จาก (2.12) ให้ผลเป็น [2]

$$\vec{E} = \frac{j\eta e^{-j\beta r}}{2\pi r} \frac{I_m \cos[(\beta L/2) \cos \theta] - \cos(\beta L/2)}{\sin \theta} \hat{a}_\theta \quad (2.13)$$

$$\vec{H} = \frac{je^{-j\beta r}}{2\pi r} \frac{I_m \cos[(\beta L/2) \cos \theta] - \cos(\beta L/2)}{\sin \theta} \hat{a}_\phi \quad (2.14)$$

เมื่อ $\eta = \omega\mu/\beta$ คืออินทรินสิกอิมพีแดนซ์(Intrinsic impedance) ของตัวกลางการแพร่คลื่นในกรณีที่ตัวกลางการคลื่นเป็นอากาศ $\eta = \eta_0 = 120\pi$ โอห์ม

ในการแสดงแพตเทิร์นการแพร่คลื่นเรามักจะนอร์มอลไรซ์(Normalize) ค่าของสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ และสนามแม่เหล็ก $\vec{H}$ เพื่อให้มีสูงสุดเป็น 1 ก่อนนำไปพล็อตเทียบกับมุม อาศัย (2.13) แพตเทิร์นสนามไฟฟ้าที่นอร์มอลไรซ์แล้วได้แสดงอยู่ในรูปที่ 2.8 สำหรับไดโพลที่มีความยาวต่างกัน



รูปที่ 2.8 แพตเทิร์นการแพร่คลื่นสำหรับไดโพลตรง

(ก). ความยาว $L = \lambda/2$

(ข). ความยาว $L = \lambda$

(ค). ความยาว $L = 3\lambda/2$

พิจารณาสมการ (2.14) เนื่องจาก $\bar{H}$ ไม่เปลี่ยนแปลงกับมุม ϕ เลขดัชนีแพดเทิร์นสนามแม่เหล็กในระนาบที่ตั้งฉากกับสายอากาศ (ระนาบ XY) จึงรูปร่างเป็นวงกลม

โดยปกติเมื่อทราบแพดเทิร์นการแพร่คลื่นของสายอากาศแล้ว เราอาจหาค่าไดเรกทิวิตีโดยประมาณได้จากแพดเทิร์นการแพร่คลื่นโดยใช้ความสัมพันธ์ [9]

$$D = \frac{41253}{\theta_1 \phi_1} \quad (2.15)$$

เมื่อ θ_1 เป็นความกว้างลำแสงกำลังในระนาบ xz มีหน่วยเป็นองศา

ϕ_1 เป็นความกว้างลำแสงกำลังในระนาบ xy มีหน่วยเป็นองศา

ยกตัวอย่างเช่น สายอากาศไดโพลครึ่งความยาวคลื่น ($L = \lambda/2$) มีความกว้างลำแสงกำลังในระนาบ xz และระนาบ xy เท่ากับ 78 และ 360 ตามลำดับดังนี้

$$D = \frac{41253}{78 \times 360} = 1.47$$

ซึ่งค่าที่ถูกต้องควรเป็น 1.64 หรือ 2.154 dB [2]

การกระจายของกระแสบนสายอากาศไดโพลยาวมีรูปแบบไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงตามขนาดความยาวของสายอากาศและตำแหน่งที่ป้อนกระแส (Feed) ให้สายอากาศ เป็นที่ทราบกันคืออยู่แล้วว่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของกระแสบนสายอากาศ [2] ดังนั้นการหาอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลยาวจึงยุ่งยากมากและต้องใช้วิธีเชิงเลข (Numerical method) ช่วย ในการคำนวณอินพุตอิมพีแดนซ์มีอยู่หลายวิธี [7] แต่วิธีที่นิยมใช้มี Induced EMF method, Stroer's variation solution, Hallen's integral equation สำหรับงานโครงการนี้เราจะใช้วิธีของ Hallen's integral equation ในการคำนวณเพราะเป็นวิธีที่ง่ายวิธีหนึ่งการหาอินพุตอิมพีแดนซ์จะจำกัดอยู่แต่เฉพาะกรณี

ตำแหน่งของการป้อนกระแสอยู่ตรงกลางสายอากาศไดโพล (Center-fed dipoles) สมการของ
 อิมพัทิมพีแดนซ์สำหรับการประมาณอันดับศูนย์ (Zeroth-order approximation) ตามวิธีนี้สามารถ
 เขียนได้เป็น [7]

$$Z = -j60\Omega \frac{\cos \beta L + \Omega^{-1} F_1(L)}{\sin \beta L + \Omega^{-1} [(1 - \cos \beta L) G_1(L) + \sin \beta L F_1(L)]} \quad (2.16)$$

เมื่อ L คือ ความยาวของสายอากาศ

a คือ รัศมีของตัวนำที่ใช้ทำสายอากาศ

Ω คือ $2 \ln (2L/a)$

$$F_1(L) = - \int_{-1}^1 \frac{F_0(z') e^{-j\beta r'}}{r'} dz'$$

$$G_1(L) = - \int_{-1}^1 \frac{G_0(z') e^{-j\beta r'}}{r'} dz'$$

$$F_0(z) = \cos \beta z - \cos \beta L$$

$$G_0(z) = \sin \beta |z| - \sin \beta L$$

$$r' = [a^2 + (L - z')^2]^{1/2}$$

อิมพัทิมพีแดนซ์จะมีค่าถูกต้องมากยิ่งขึ้นเมื่อใช้การประมาณค่าอันดับสูงขึ้นไป (Higher
 order approximation)

2.5 สายอากาศชุด (Array antenna)

สายอากาศเล็กๆ จำนวนหนึ่งซึ่งมีโครงสร้างเหมือนกัน ก็นำมาเรียงกันในที่ว่างและต่อเข้าด้วยกันเพื่อประกอบขึ้นเป็นสายอากาศชุด ซึ่งหากเราควบคุมแอมพลิจูด และเฟสของกระแสแต่ละองค์ประกอบ (element) แล้วจะได้แพทเทิร์นผลลัพธ์ที่มีโคเร็กติวิตีสูงมากพอๆ กับสายอากาศใหญ่ ตัวเดียวนอกจากจะสามารถทำให้โคเร็กติวิตีมีค่าสูงแล้ว การควบคุมแอมพลิจูดของแต่ละองค์ประกอบยังสามารถเปลี่ยนแปลงแพทเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศชุดให้มีรูปร่าง และอยู่ในทิศทางตามต้องการ ปัจจุบันสายอากาศชุดได้ถูกนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบสื่อสารผ่านดาวเทียม ทั้งนี้เพราะเป็นสายอากาศที่สร้างง่าย และมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับสายอากาศขนาดใหญ่ที่ให้คุณสมบัติหักเหเหมือนกัน

สายอากาศชุดมีโครงสร้างต่างๆ กันหลายอย่าง โครงสร้างเบื้องต้นที่ได้แก่ สายอากาศชุดเชิงเส้น (Linear array) ซึ่งจุดศูนย์กลางขององค์ประกอบทุกตัววางอยู่ในเส้นตรงเดียวกัน เมื่อจุดศูนย์กลางขององค์ประกอบอยู่ในระนาบเดียวกัน โครงสร้างดังกล่าวเรียกว่า สายอากาศชุดเชิงระนาบ (Planer array) โครงสร้างของสายอากาศชุดใหม่ที่เพิ่งนำออกมาใช้งาน ได้แก่ คอนฟอร์มอลแอเรย์ (Conformal array) ซึ่งตำแหน่งขององค์ประกอบจะถูกจัดให้อยู่บนผิวโค้งของยานพาหนะหรือขีปนาวุธ สำหรับในงานโครงการนี้เราจะจำกัดความสนใจแต่เฉพาะสายอากาศชุดเชิงเส้นเท่านั้น

แพทเทิร์นของสายอากาศชุดเมื่อเราแทนองค์ประกอบแต่ละตัวด้วย แหล่งกำเนิดจุด (Isotropic point source) ที่มีแอมพลิจูดและเฟสสัมพันธ์เหมือนกันเรียกว่า แอเรย์แฟกเตอร์ (Arrey factor) ถ้าเราทราบแอเรย์แฟกเตอร์ และแพทเทิร์นขององค์ประกอบของสายอากาศชุดเราสามารถหาแพทเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศชุดโดยใช้หลักการคูณแพทเทิร์น (Principle of pattern multiplication) ในเชิงคณิตศาสตร์แพทเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศชุดสามารถเขียนแทนได้ด้วยสมการ

$$F(\theta, \phi) = g_m(\theta, \phi) f(\theta, \phi) \quad (2.27)$$

เมื่อ $F(\theta, \phi)$ คือ ค่าแอมพลิจูดของแพทเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศชุด

$g_m(\theta, \phi)$ คือ ค่าแอมพลิจูดของแพทเทิร์นการแผ่คลื่นขององค์ประกอบ

$f(\theta, \phi)$ คือ ค่าแอมพลิจูดของแอเรย์แฟกเตอร์

ถ้าสายอากาศชุดเชิงเส้นมีองค์ประกอบ N ตัวและแต่ละตัวถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่มีขนาดเท่ากัน เราสามารถแสดงได้ว่าแอมพลิจูดของคลื่นที่แผ่ออกมีสมการเป็น [2]

$$f(\psi) = \frac{\sin(N\psi/2)}{N \sin(\psi/2)} \quad (2.28)$$

เมื่อ $\psi = \beta d \cos \theta + \alpha$ คือตัวแปรซึ่งเป็นฟังก์ชันของระยะห่าง d ระหว่างองค์ประกอบ

α = คือ ความแตกต่างเฟสระหว่างแพทเทิร์นขององค์ประกอบที่อยู่ติดกัน

θ = คือ มุมที่ทิศทางของระนาบคลื่นทำกับแกนของสายอากาศชุด

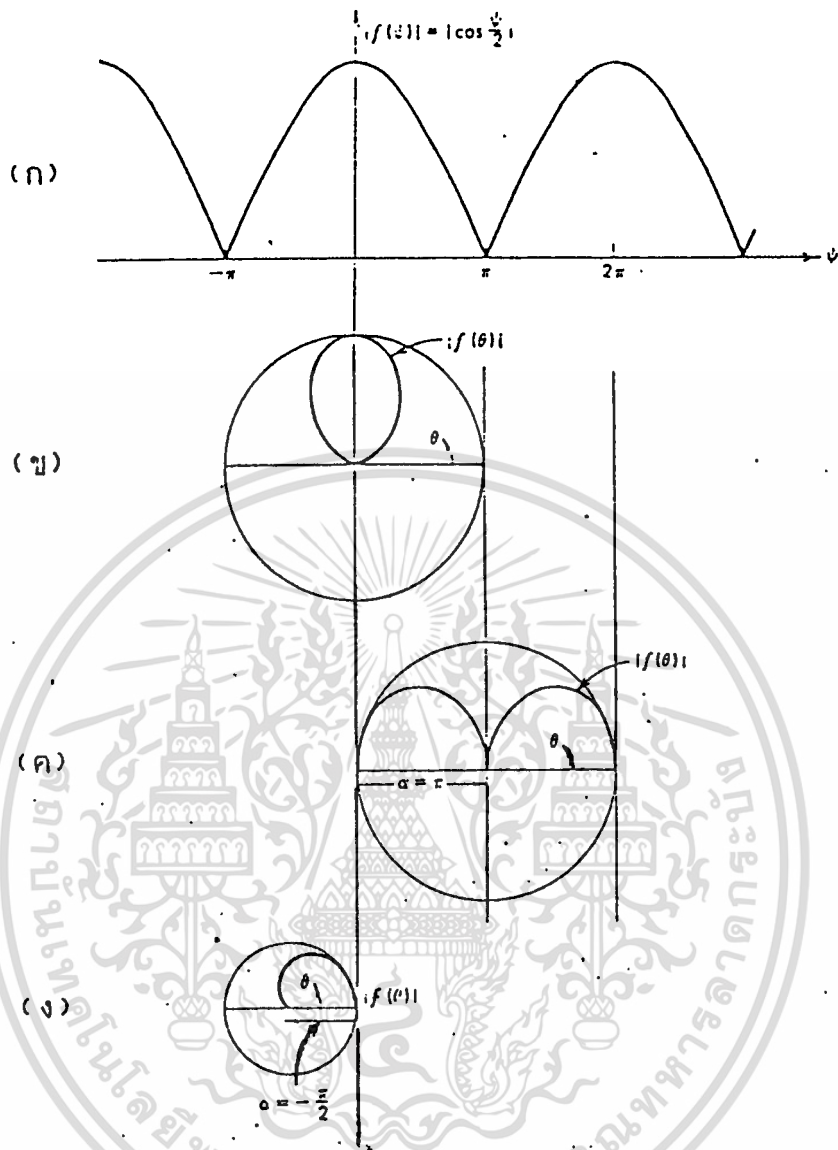
จากสมการที่ (2.28) จะเห็นว่าแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงกับจำนวนองค์ประกอบ และความต่างเฟสของกระแสที่ป้อนให้กับแต่ละองค์ประกอบ รูปที่ 2.12 แสดงแอมพลิจูดของสายอากาศชุดที่มีองค์ประกอบ 2 ตัวและความต่างเฟสของกระแสในแต่ละองค์ประกอบมีค่าต่างๆ กัน

ในการใช้งานบางครั้งเราต้องการสายอากาศชนิดที่ให้ลำคลื่นแผ่ออกในลักษณะที่เป็น Pencil beam และการแพร่คลื่นเกิดขึ้นในแนวเดียวกับแกนของสายอากาศ Pencil beam ก็คือแพทเทิร์นการแพร่คลื่นที่มีโลบหลักแคบๆ เพียงโลบเดียวและมีโลบข้างที่มีระดับค่อนข้างต่ำ สายอากาศชุดที่ให้การแพร่คลื่นในลักษณะนี้เรียกว่า Ordinary endfire array เงื่อนไขที่ทำให้สายอากาศชุดเป็น Ordinary endfire array คือ

$$\alpha = \pm \beta d$$

โดยที่ d จะต้องสอดคล้องเงื่อนไข

$$d < (\lambda/2)(1-1/2N) \quad (2.29)$$



รูปที่ 2.12 แอเรียแฟกเตอร์ของสายอากาศชุดที่มีองค์ประกอบ 2 ตัว และกระแสบนองค์ประกอบทั้งสองมีแอมพลิจูดเท่ากัน

(ก) แอเรียแฟกเตอร์ทั่วไป

(ข) โพลาร์พล็อตเมื่อ $d = \lambda/2$, $\beta d = \pi$, $\alpha = 0$

(ค) โพลาร์พล็อตเมื่อ $d = \lambda/2$, $\beta d = \pi$, $\alpha = \pi$

(ง) โพลาร์พล็อตเมื่อ $d = \lambda/2$, $\beta d = \pi$, $\alpha = -\pi/2$

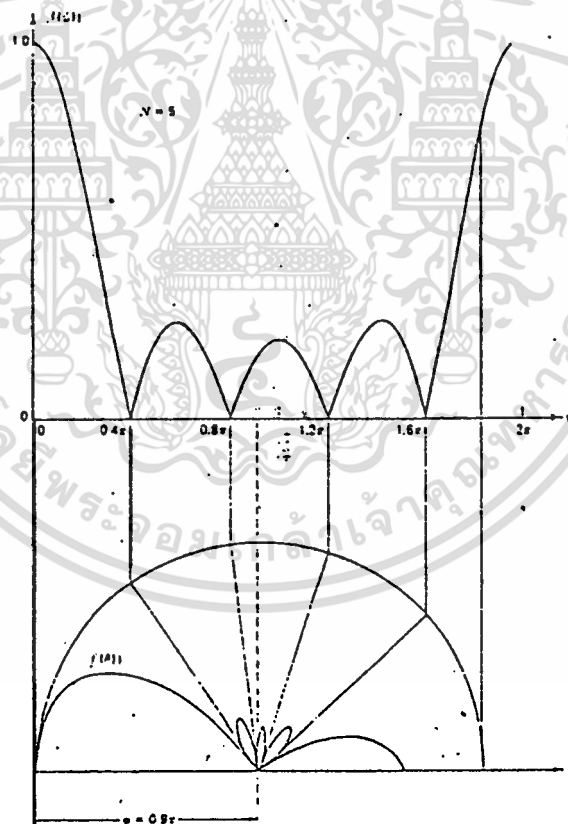
โดยทั่วไปสายอากาศชุดแบบ Ordinary endfire array จะมีโคเร็กติวิตีสูง อย่างไรก็ตามเรายังสามารถบังคับให้สายอากาศชนิดนี้มีโคเร็กติวิตีเพิ่มขึ้นอีกได้ โดยการเพิ่มความต่างเฟสของกระแสระหว่างองค์ประกอบที่อยู่ติดกันให้มากขึ้น นั่นคือ

$$\alpha = \pm \beta d + \pi/N$$

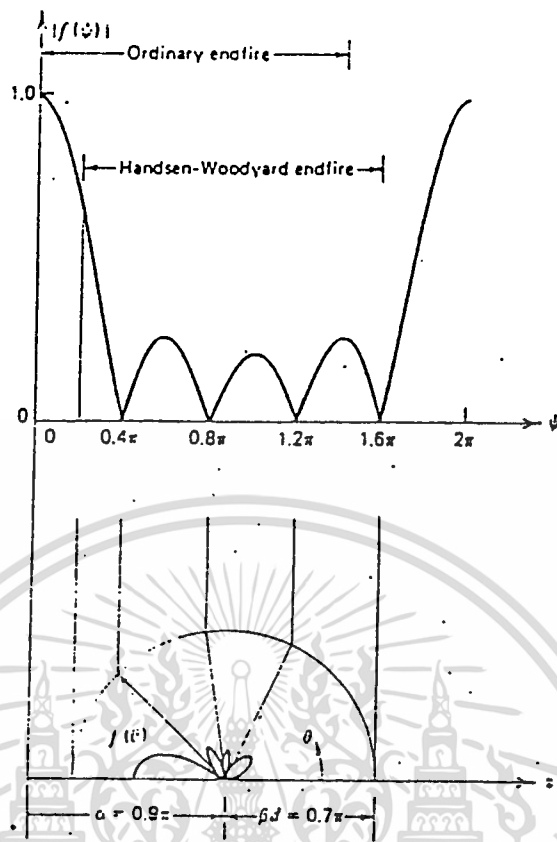
โดยที่ d จะต้องสอดคล้องเงื่อนไข

$$d < (\lambda/2)(1-1/N) \quad (2.30)$$

สายอากาศที่มีความแตกต่างเฟสของระหว่างองค์ประกอบสอดคล้องกับเงื่อนไข (2.30) เรียกว่า Hansen-Woodyard endfire array แอเรย์แฟคเตอร์ของ Ordinary endfire array กับ Hansen-Woodyard endfire array แสดงไว้ในรูปที่ 2.13 และ 2.14 ตามลำดับเพื่อให้เห็นความแตกต่าง



รูปที่ 2.13 Ordinary endfire array ที่มีองค์ประกอบ 5 ตัวซึ่งถูกกระตุ้น ด้วยกระแสที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน ระยะห่าง $d = 0.45 \lambda$ และ $\alpha = 0.9\pi$

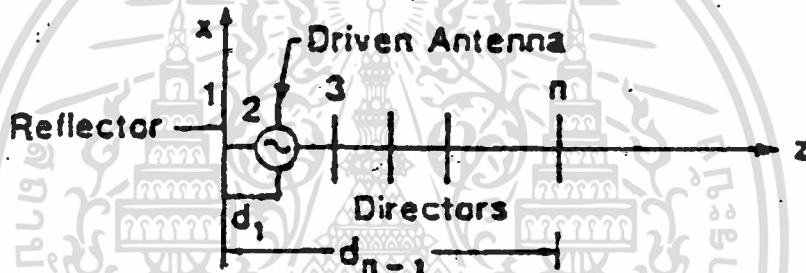


รูปที่ 2.14 Handsen-Woodyard endfire array ที่มีองค์ประกอบ 5 ตัว ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยกระแสที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน ระยะห่าง $d = 0.35 \lambda$ $\alpha = 0.9\pi$

2.6 สายอากาศยาคิ(Yagi-Uda antenna)

สายอากาศยาคิเป็นสายอากาศชุดเชิงเส้นที่องค์ประกอบทุกตัวเป็นไดโพล ซึ่งมีความยาวไม่เท่ากัน แต่การป้อนกระแสจะทำให้ไดโพลเพียงตัวเดียวไดโพลตัวที่ถูกป้อนกระแสนี้เรียกว่า (Driver) ไดโพลที่เหลือเป็นองค์ประกอบพาสซีฟ (Parasitic element) ซึ่งจะได้รับการกระตุ้น (Excitation) ผ่านการเชื่อมโยงของสนามระยะใกล้(Near field) จากตัวขับ [8]

ตัวขับจะมีความยาวเท่ากับครึ่งความยาวคลื่นที่ความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant frequency) ส่วนองค์ประกอบพาสซีฟตัวที่มีความยาวกว่าตัวขับและวางอยู่ด้านหลังตัวขับเรียกว่า ตัวสะท้อน (Reflector) สำหรับองค์ประกอบที่เหลือซึ่งจะมีความยาวน้อยกว่าตัวขับ และอยู่หน้าตัวขับเรียกว่า ตัวชี้นำ (director) โครงรูปของสายอากาศยาคิสามารถแสดงไว้ในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงโครงรูปทั่วไปของสายอากาศยาคิ

เนื่องจากไดโพลแต่ละตัวมีความยาวต่างกันเล็กน้อย ดังนั้นแพตเทิร์นการแพร่คลื่นของแต่ละตัวจึงแตกต่างกันไม่มาก เราจึงสามารถหาแพตเทิร์นผลลัพธ์โดยใช้หลักการซ้อนแพตเทิร์นได้ แพตเทิร์นการแพร่คลื่นของไดโพลตัวที่ i ในระนาบ xy มีนิพจน์เป็น [8]

$$f_i(\theta) = \frac{(\cos(\beta L_i/2 \sin \theta) - \cos \beta L_i/2)}{\cos \theta} \quad (2.31)$$

เมื่อ L_i คือ ความยาวของไดโพลตัวที่ i

การวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศแบบขาคีโดโพลโดยวิธี EMF

การวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศแบบขาคีโดโพลนั้น เนื่องจากโดยทั่วไปตัวสะท้อนคลื่น และตัวนำคลื่นจะวางอยู่ใกล้ๆ ตัวประกอบที่วางห่างกันมากที่สุดก็จะวางห่างกันไม่มากนักเมื่อเทียบกับ ความยาวคลื่น ดังนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงอิมพีแดนซ์ระหว่างตัวประกอบทุกตัว การวิเคราะห์สายอากาศ โครงสร้างนี้จะทำได้โดยใช้วิธี EMF ร่วมกับหลักการของวงจรดังที่กล่าว คือถ้าสายอากาศแบบขาคีโดโพลที่จะทำการวิเคราะห์นี้ประกอบด้วย N ตัวประกอบ และกระแสที่ไหลบนตัวประกอบอันดับที่ i เขียนได้เป็น

$$I_i(Z_i) = I_i \sin k(\ell_i - |z_i|) \quad (2.33)$$

โดยที่ $2\ell_i$ เป็นความยาวของสายอากาศอันดับที่ i ซึ่งจะทำให้สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส I_i กับแรงดันที่ป้อนให้กับสายอากาศในรูปต่อไปนี้คือ

$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1N} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2N} \\ Z_{31} & Z_{32} & \dots & Z_{3N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{N1} & Z_{N2} & \dots & Z_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

โดยที่ Z_{ii} และ Z_{ij} เป็นอิมพีแดนซ์ของตัวเองสายอากาศเองและอิมพีแดนซ์ระหว่างตัวสายอากาศตามลำดับ และ V_i เป็นแรงดันที่ขั้วของสายอากาศอันดับที่ 1 ในการป้อนสายอากาศแบบขาคีโดโพลนั้น เนื่องจากมีเพียงสายอากาศอันดับที่ 2 เท่านั้น ที่มีแรงดันขั้วไม่เป็นศูนย์ สำหรับตัวอื่นจะเป็นศูนย์หมดเนื่องจากปิดวงจรอยู่ดังนั้นสมการ (2.34)

$$\begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1N} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2N} \\ Z_{31} & Z_{32} & \dots & Z_{3N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{N1} & Z_{N2} & \dots & Z_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V_2 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

แพทเทิร์นผลลัพธ์ของสายอากาศสามารถเขียนได้เป็น

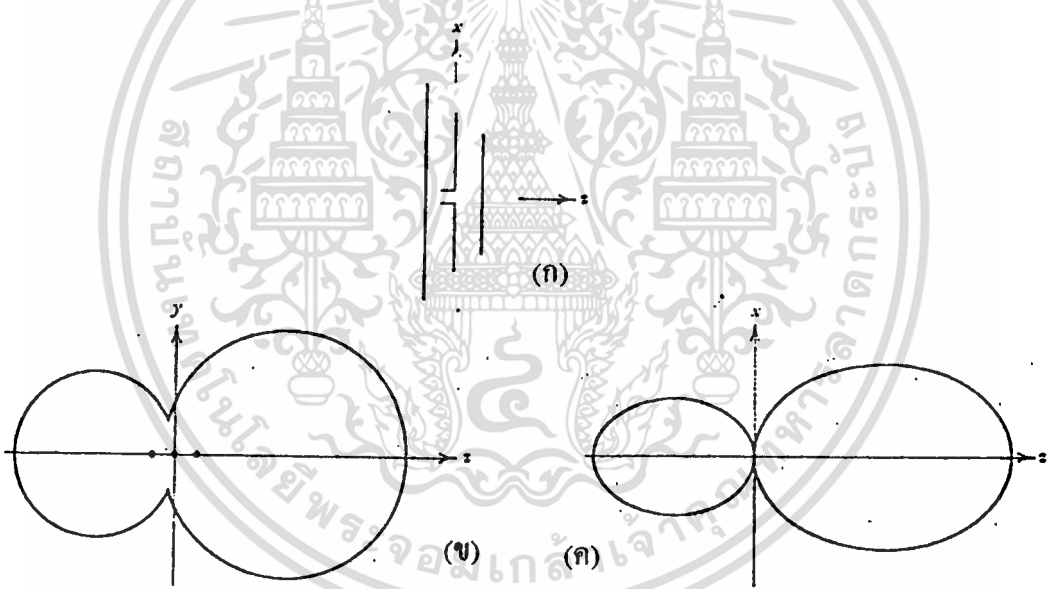
$$E(\theta) = \sum_{i=1}^n I_i f_i(\theta) \exp(j\beta d_{i-1} \cos\theta) \quad (2.32)$$

เมื่อ n คือ จำนวนไดโพลทั้งหมด

d_{i-1} คือ ระยะห่างระหว่างองค์ประกอบที่ 1 กับ $i-1$ โดย $d_0 = 0$

I_i คือ แอมพลิจูดของกระแสบนไดโพลตัวที่ i

โครงรูปและแพทเทิร์นการแพร่คลื่นของสายอากาศขาคีมูลฐานที่มีองค์ประกอบ 3 ตัว แสดงไว้ในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 สายอากาศขาคีมูลฐานที่มีองค์ประกอบ 3 ตัว ตัวขับยาว 0.478λ ตัวสะท้อนยาว 0.49λ ตัวชี้นำยาว 0.45λ ไดโพลแต่ละตัวห่างกัน 0.04λ และตัวนำที่ใช้ทำสายอากาศมีรัศมี 0.001λ

(ก) แสดงโครงรูปของสายอากาศ

(ข) แพทเทิร์นในระนาบ $\overline{H}$ ซึ่งได้จากการคำนวณโดยวิธีเชิงเลข

(ค) แพทเทิร์นในระนาบ $\overline{E}$ ซึ่งได้จากการคำนวณโดยวิธีเชิงเลข

ค่า Z_{ii} และ Z_{ij} จะสามารถคำนวณได้ตามวิธีการเมื่อโครงสร้างของสายอากาศและความถี่ใช้งานถูกกำหนดขึ้น ดังนั้นจะสามารถคำนวณค่า I_i ได้โดยคูณ Z เข้าทั้งสองข้างของสมการ (2.35) ซึ่งจะได้ผลดังนี้

$$[I] = [Z]^{-1} [V] \quad (2.36)$$

โดยที่ $[Z]^{-1}$ เป็นเมทริกซ์ส่วนกลับ (inverse matrix) ของ $[Z]$ ในสมการ (2.35) ซึ่งสามารถเขียนได้ในรูปต่อไปนี้คือ

$$[Z]^{-1} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} \Delta_{11} & \Delta_{12} & \dots & \Delta_{1N} \\ \Delta_{21} & \Delta_{22} & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta_{N1} & \Delta_{N2} & \dots & \Delta_{NN} \end{bmatrix}^T \quad (2.37)$$

โดยที่ เป็นค่าดีเทอร์มิแนนต์ (determinant) ของ $[Z]$ และ Δ_{ij} เป็นค่าดีเทอร์มิแนนต์ของเมทริกซ์ที่เกิดจากการตัดแถวที่ i และหลักที่ j ออกจาก $[Z]$ จากสมการที่ (2.35) ซึ่งสามารถเขียนกระแส I_i ได้ดังนี้คือ

$$I_i = (\Delta_{2i}/\Delta) * V_2 \quad (2.38)$$

ดังนั้นเราสามารถหาอินพุทอิมพีแดนซ์ได้ดังนี้

$$Z_{in} = V_2/I_2 = \Delta/\Delta_{22} \quad (2.39)$$

สำหรับการหาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระจายออกไปนั้นเนื่องจากสายอากาศแบบขาคีโดโพล โดยทั่วไปความยาวของตัวประกอบไม่เท่ากัน ดังนั้นการคำนวณหาสนามไฟฟ้าก็จะต้องนำความยาวของสายอากาศแต่ละตัวมาคิดด้วย จากสมการไดโพล ถ้าให้จุดอ้างอิงเป็นจุดกึ่งกลางของความยาวจะได้ว่าสายอากาศที่มีกระแสไหลในรูปสมการ (2.33) และมีความยาวเป็น $2\ell_i$ จะให้สนามไฟฟ้าที่จุดห่างไกลเป็น

$$E_{\theta i}(r, \theta, \phi) = j60I_i \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{\cos(k\ell_i \cos \theta) - \cos k\ell_i}{\sin \theta} \quad (2.40)$$

ดังนั้นเมื่อใช้จุดกึ่งกลางของสายอากาศอันดับที่ 1 เป็นจุดอ้างอิงดังในรูปที่ 2.15. ก็จะหาสนามไฟฟ้ารวมได้ในรูปต่อไปนี้

$$E_{\theta i}(r, \theta, \phi) = j60I_i \frac{e^{-jkr}}{r} \sum_{i=1}^N I_i \frac{\cos(kl_i \cos \theta) - \cos kl_i}{\sin \theta} e^{jkd_i \sin \theta \sin \phi} \quad (2.41)$$

โดยที่ d_i เป็นระยะห่างของตัวประกอบอันดับที่ i จากจุดอ้างอิง และ $d_1 = 0$ เมื่อสามารถคำนวณสนามไฟฟ้าที่จุดห่างไกลได้ และสามารถคำนวณค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศได้ ก็จะสามารคำนวณค่าอัตราขยายของสายอากาศในทิศ θ, ϕ ได้ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} G(\theta, \phi) &= \frac{|E_{\theta}(r, \theta, \phi)|^2 / Z_0}{\text{Re}[Z_{in}] |I_2|^2 / 4\pi r^2} \\ &= \frac{4\pi}{Z_0 \text{Re}[Z_{in}] |I_2|^2} \left| 60 \sum_{i=1}^N I_i \frac{\cos(kl_i \cos \theta) - \cos kl_i}{\sin \theta} e^{jkd_i \sin \theta \sin \phi} \right|^2 \end{aligned} \quad (2.42)$$

และอัตราขยายในทิศเอนต์ไฟร์ คือ $\theta = 90, \phi = 90$

$$G = \frac{4\pi}{\text{Re}[Z_{in}] |I_2|^2} \left| 60 \sum_{i=1}^N I_i (1 \cos kl_i) e^{jkd_i} \right|^2 \quad (2.43)$$

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเป็นได้ว่า ประเด็นสำคัญของการวิเคราะห์สายอากาศแบบนี้ก็คือ การหาค่ากระแสที่ไหลบนสายอากาศแต่ละตัวประกอบ เมื่อรู้ค่ากระแสแล้วก็จะนำไปหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สนามไฟฟ้า และอัตราขยายต่อไปได้

บทที่ 3

การออกแบบสายอากาศขาคีไคโพล

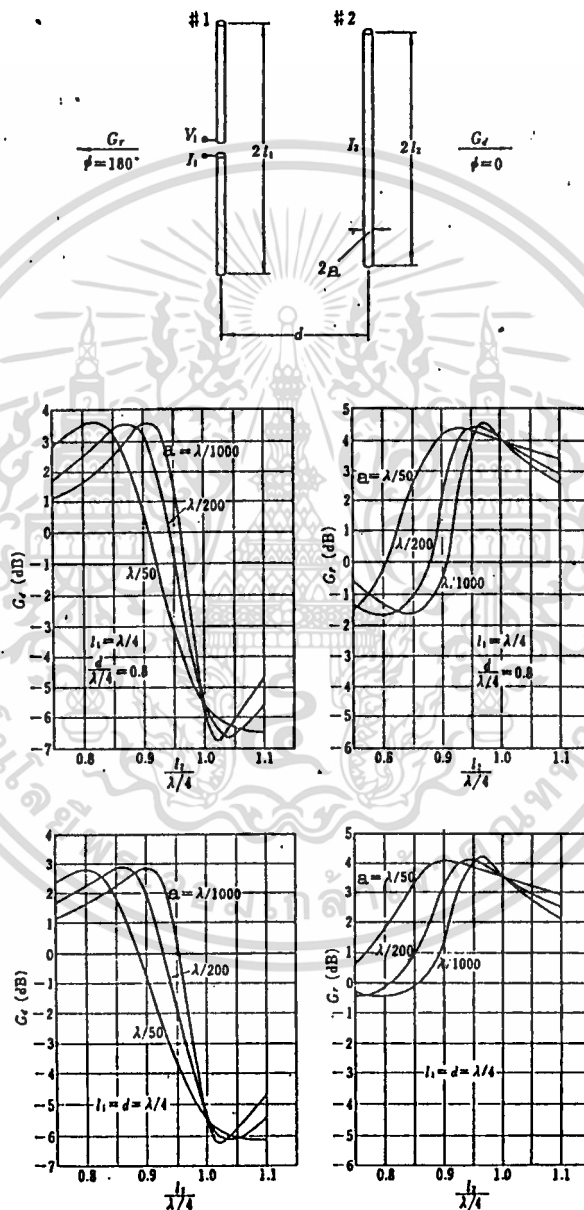
3.1 บทนำ

สายอากาศขาคีไคโพล เป็นสายอากาศทิศทางแบบหนึ่งที่ได้รับคามนิยมใช้งานมานานตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง และก็ได้ได้รับความนิยมเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาจนมีผู้พยายามวิจัยเพื่อหาวิธีการออกแบบที่จะทำให้สายอากาศขาคีไคโพลมีอัตราขยายต่อความยาวของบูมมากที่สุด โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงต่างๆตั้งแต่ระยะห่างระหว่างอิลิเมนต์ต่างๆ จำนวนโคเรกเตอร์ และเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของอิลิเมนต์ต่างๆ ซึ่งก็พบว่าขนาดต่างๆเหล่านี้ทั้งหมดมีผลกระทบระหว่างกันพอเปลี่ยนตัวหนึ่ง ก็ต้องเปลี่ยนระยะของตัวอื่นไปด้วย เพราะทุกอย่างนี้มีผลกระทบถึงอัตราขยาย รูปแบบการแพร่กระจายคลื่น และแถบความถี่ใช้งาน

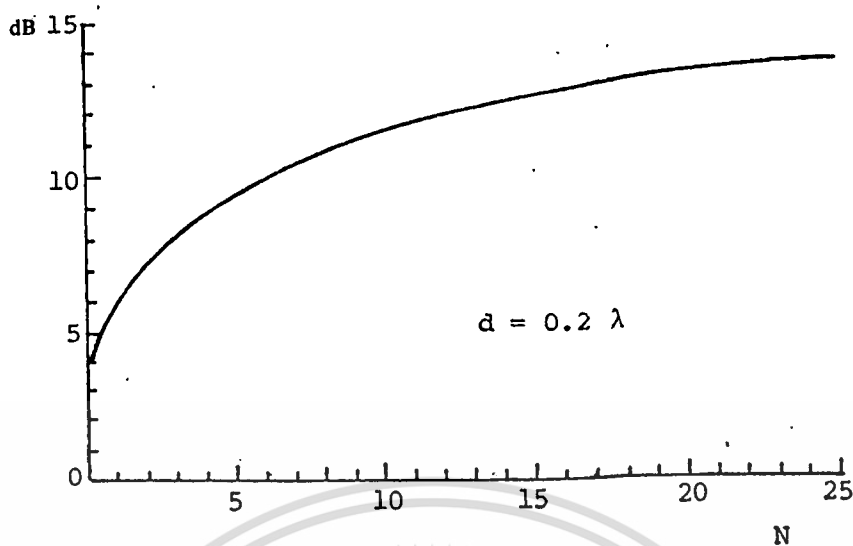
3.2 การออกแบบสายอากาศแบบขาคีไคโพล

สายอากาศแบบขาคีไคโพลนั้นโดยทั่วไปจะมีตัวป้อนยาวครึ่งความยาวคลื่น ส่วนตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นจะมีความยาวแตกต่างกันไป การเลือกขนาดของตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นจะทำได้โดยพิจารณาผลของความยาวและระยะห่างของตัวประกอบอื่นที่มีต่อผลการกระจายคลื่น รูปที่ 3.1 แสดงผลดังกล่าวนี้ในรูปอัตราขยายของสายอากาศขาคีไคโพลที่มี 2 ตัวประกอบ จากรูปจะเห็นว่า เมื่อสายอากาศอันดับที่ 2 มีครึ่งหนึ่งของความยาวคือ l_2 น้อยกว่า $0.9\lambda/4$ ค่า G_d จะสูงขึ้น และค่า G_r จะต่ำลง นั่นคือสายอากาศอันดับที่สองนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวนำคลื่น ในทำนองเดียวกัน ในขณะที่ l_2 มากกว่า $\lambda/4$ ขึ้นไป ค่า G_r จะสูงขึ้นและค่า G_d จะต่ำลง ซึ่งแสดงว่าในเงื่อนไขเช่นนั้นสายอากาศอันดับที่ 2 จะทำหน้าที่เป็นตัวสะท้อนคลื่นสำหรับช่วงที่ l_2 อยู่ระหว่าง $0.9\lambda/4$ ถึง $\lambda/4$ นั่นเป็นช่วงของการเปลี่ยนจากตัวนำคลื่นเป็นตัวสะท้อนคลื่นซึ่งในทางปฏิบัติมักจะไม่ใช้ จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าที่ l_2 เป็น $0.9\lambda/4$ และ $\lambda/4$ สายอากาศอันดับที่ 2 นี้จะทำหน้าที่เป็นตัวนำคลื่นและตัวสะท้อนคลื่นที่ดีตามลำดับ ทั้งนี้เพราะให้อัตราขยายสูง แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการกำหนดความยาวของตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นจะต้องพิจารณาจากเงื่อนไขอื่นประกอบด้วย เช่น แบนด์-

วิคท์ที่ต้องการใช้งานเพราะถ้าแบนด์วิคท์กว้าง เราจะต้องเลือกความยาวของตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นให้สามารถทำงานได้ดีตลอดย่านความถี่นั้น นั่นคือความยาวของตัวนำคลื่นไม่ควรเกิน 0.45 เท่าของความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดที่ใช้งานและความยาวของตัวสะท้อนคลื่นก็ไม่ควรจะสั้นกว่า 0.5 เท่าของความยาวคลื่นที่ยาวที่สุดที่ใช้งาน ไม่เช่นนั้นแล้วอาจจะไม่ได้แบนด์วิคท์ตามที่ต้องการได้



รูปที่ 3.1 อัตราขยายของสายอากาศแบบยาگیไดโพลที่มี 2 ตัวประกอบ

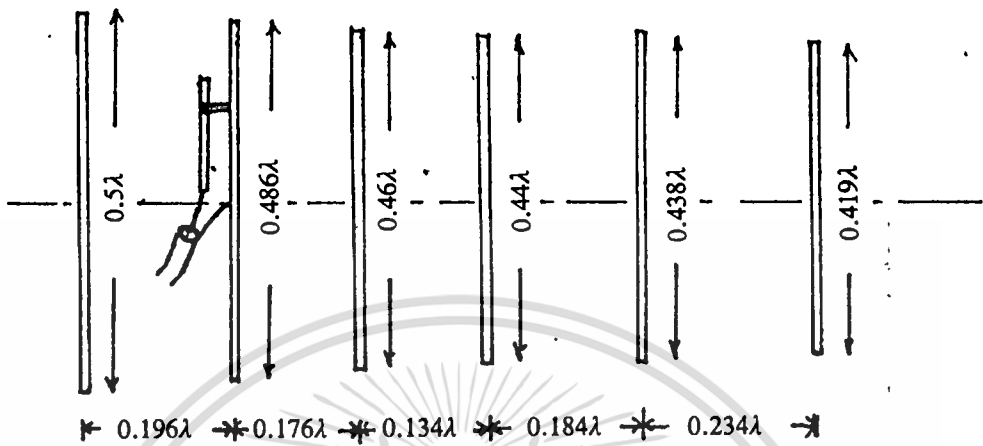


รูปที่ 3.3 การเพิ่มขึ้นของอัตราขยายเมื่อจำนวนตัวประกอบมากขึ้น

การกำหนดความยาว และระยะห่างของตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่นนั้น โดยทั่วไปนอกจากจะพิจารณาจากค่าอัตราขยายที่ได้แล้ว จะต้องพิจารณาถึงค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ได้จะต้องเข้ากับสายนำสัญญาณที่ใช้ เช่น ถ้าใช้สายโคแอกเชียล 50 โอห์ม เป็นสายนำสัญญาณอินพุตอิมพีแดนซ์ที่ได้ก็ควรจะใกล้เคียงกับ 50 โอห์ม ตลอดย่านความถี่ที่ใช้งาน อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ ค่าอิมพีแดนซ์มักจะมีค่ารีแอคแตนซ์อยู่ด้วย ในการออกแบบสายอากาศจึงต้องใช้ผลการคำนวณเป็นแนวทางในการกำหนดตัวแปรต่างๆ ในขั้นต้นก่อน แล้วจึงทำการปรับแต่งโดยใช้การทดลอง ซึ่งจะทำให้โครงสร้างที่ได้ในขั้นสุดท้ายสามารถนำไปใช้งานได้ดี รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของสายอากาศที่มีอินพุตอิมพีแดนซ์ประมาณ 50 โอห์ม ในรูปได้แสดงส่วนที่ทำหน้าที่เป็นแมตชิ่งไว้ด้วย หน้าที่ของตัวแมตชิ่งก็คือการหักล้างค่ารีแอคแตนซ์ของสายอากาศให้ใกล้เคียงกับศูนย์มากที่สุดที่ความถี่ใช้งาน ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณมากที่สุด

สำหรับสายอากาศแบบฮากิโดโพลที่ใช้ในการรับคลื่นโทรทัศน์นั้น เนื่องจากสายนำสัญญาณในระบบรับโทรทัศน์นั้นเดิมทีใช้เป็นสายคู่ขนานอิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม และปัจจุบันส่วนใหญ่จะใช้สายโคแอกเชียลอิมพีแดนซ์ 75 โอห์ม อย่างไรก็ตามการออกแบบสายอากาศนี้ยังคงออกแบบให้สายอากาศมีอิมพีแดนซ์เป็น 300 โอห์ม เพราะจะต่อโดยตรงกับสายคู่ขนานได้ และเมื่อต้องการต่อกับสายโคแอกเชียล 75 โอห์ม ก็จะทำให้ได้โดยใช้วงจรแมตชิ่งที่ทำหน้าเป็นบาลันด้วย (Balun ย่อจาก Balanced to unbalanced converter) ซึ่งจะสามารถแปลงอิมพีแดนซ์ 300 โอห์ม แบบบาลานซ์เป็นอิมพีแดนซ์

75 โอห์ม แบบอินบามานซ์ได้ ในการออกแบบให้อิมพัคติมพีแคนซ์ของสายอากาศเป็น 300 โอห์ม นั้นโดยทั่วไป

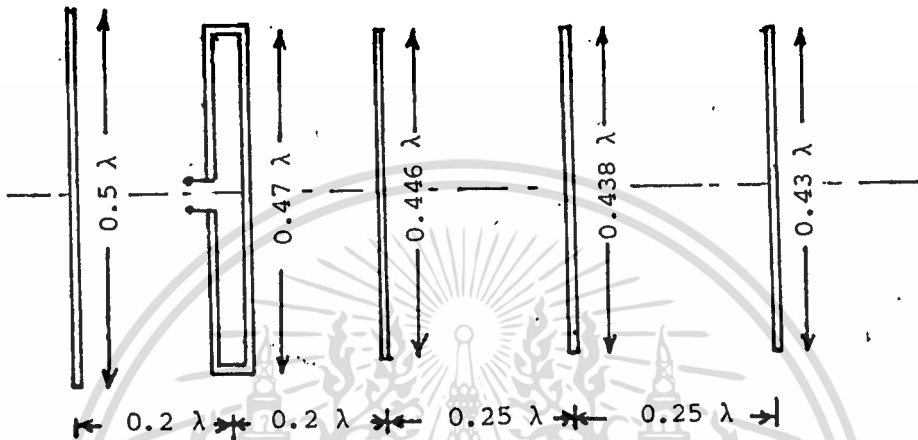


รูปที่ 3.4 ตัวอย่าง โครงสร้างของสายอากาศแบบยาคิโด โพลที่มีอิมพัคติมพีแคนซ์เป็น

จะไม่สามารถทำได้โดยใช้โดโพลแบบธรรมดาเป็นตัวป้อน เพราะอิมพีแดนซ์ที่ได้จะมีค่าต่ำกว่า 100 โอห์ม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ตัวป้อนที่จะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์สูงขึ้น ตัวป้อนที่ใช้ได้ผลตัวหนึ่งก็คือโดโพลแบบห้วงซึ่งสามารถแปลงอิมพีแดนซ์ให้สูงขึ้นได้ถึง 4 เท่าตัว การวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศโดโพลแบบห้วงได้กล่าวไว้ แต่การวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศแบบยาคิโดโพลที่มีตัวป้อนเป็นโดโพลแบบห้วงนั้นจะทำได้ลำบากมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมักจะใช้ผลการคำนวณของกรณีที่ใช้ตัวป้อนแบบโดโพลธรรมดาเป็นแนวทางกล่าว คือ เลือกโครงสร้างของสายอากาศยาคิโดโพลให้อิมพัคติมพีแคนซ์ใกล้เคียงกับ 75 โอห์ม โดยมีค่ารีแอคแตนซ์ต่ำเสร็จแล้วจึงทำการทดลองวัดค่าอิมพัคติมพีแคนซ์โดยใช้ตัวป้อนเป็นโดโพลแบบห้วง แล้วทำการปรับความยาวและตัวนำคลื่นให้เหมาะสมเพื่อให้ได้อิมพัคติมพีแคนซ์ใกล้เคียงกับ 300 โอห์ม มากที่สุด เนื่องจากสายอากาศแบบยาคิโดโพลที่รับคลื่นโทรทัศน์นั้นโดยทั่วไปต้องการแบนด์วิดท์กว้างกว่าแบบใช้ในการสื่อสารทั่วไป เพราะว่าถึงแม้จะใช้ในการรับคลื่นเพียงสถานีเดียวก็ต้องการแบนด์วิดท์ประมาณ 3% ถึง 10% ขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาห์ (ในระบบ VHF มาตรฐานยุโรป ความถี่คลื่นพาห์จะอยู่ระหว่าง 47 MHz ถึง 68 MHz และ 174 MHz ถึง 230 MHz แบนด์วิดท์ที่ต้องการคือ 7 MHz) และถ้าจะให้รับได้หลายๆ สถานีก็อาจจะต้องการแบนด์วิดท์ถึง 20% ในเงื่อนไขของแบนด์วิดท์ที่ค่อนข้างกว้างเช่นนี้ การออกแบบสายอากาศให้อิมพัคติมพีแคนซ์ใกล้เคียงกับ 300 โอห์ม ตลอดย่านความถี่ที่ต้องการ

นั่นเป็นไปได้ยากมากดังนั้นสำหรับสายอากาศรับโทรทัศน์จึงอนุญาตให้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์คลาดเคลื่อนไปได้บ้าง โดยเมื่อคิดเป็นค่า VSWR แล้วให้ต่ำกว่า 2.0:1 หรือ 2.5:1 แล้วแต่จะกำหนด

รูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของสายอากาศแบบยาคีไดโพลที่ใช้ไดโพลแบบห้วงเป็นตัวป้อน และทำงานได้ดีในช่วงแบนด์วิธ 10%



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างโครงสร้างของสายอากาศแบบยาคีไดโพลที่ใช้ไดโพลแบบห้วงเป็นตัวป้อน และมีแบนด์วิธ 10 %

3.3 การออกแบบสายอากาศวิทยุตามแบบวิธีของ NBS

เป็นวิธีการออกแบบที่พัฒนาขึ้นโดยสำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ (NBS) ของอเมริกาซึ่งจะช่วยให้สามารถออกแบบสายอากาศวิทยุ ขนาดตั้งแต่ 3 อี ถึง 15 อี สำหรับความถี่ต่างๆ ตามต้องการได้ บางการวิจัยใช้การทดลองเป็นหลักซึ่งต้องใช้เวลานานมากกว่าจะได้ผลการทดลองที่สามารถสรุป บางการวิจัยต้องใช้คอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่เข้าช่วยเพื่อทดสอบสมการทางคณิตศาสตร์ว่าสามารถอธิบายพฤติกรรมต่างๆ ของสายอากาศวิทยุได้แม่นยำน่าพอใจหรือไม่เมื่อพบว่าน่าพอใจหรือพอเชื่อถือได้แล้วจึงนำมาใช้วิเคราะห์หาระยะห่างและความยาวที่เหมาะสมอีกหนึ่ง จนกระทั่งล่าสุดนี้ ได้พัฒนามาถึงขั้นไมโครคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบสายอากาศวิทยุให้แม่นยำ

ในบรรดาผลการวิจัยทั้งหลายนั้นผลงานเก่าแก่ที่น่าสนใจอันหนึ่ง เป็นวิธีการซึ่งสำนักงานมาตรฐานแห่งชาติ (National Bureau of Standards หรือ NBS) ของอเมริกาวิจัยเอาไว้ แม้ว่าวิธีนี้จะให้อัตราขยายยังไม่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นในปัจจุบันที่ใช้คอมพิวเตอร์ ให้อัตราขยายน้อยกว่าวิธีที่ดีที่สุดในปัจจุบันอยู่ประมาณ 1 dB) แต่ก็เป็วิธีง่ายๆ ซึ่งนักวิทยุสมัครเล่นทุกคนสามารถทำตามได้แม่นยำ และให้ผลการใช้งานที่น่าพอใจ จึงนำมาเผยแพร่ในที่นี้พร้อมทั้งยกตัวอย่างการออกแบบมาให้ดูด้วย วิธีนี้ใช้ได้กับการออกแบบสายอากาศที่ความถี่ใดก็ได้ตั้งแต่ HF ถึง UHF มีความยาวมุมประมาณตั้งแต่ 0.4λ ถึง 4.2λ ซึ่งจะได้อัตราขยายประมาณ 7.1 dB_d ถึง 14.2 dB_d (ตามผลการทดลองของ NBS)

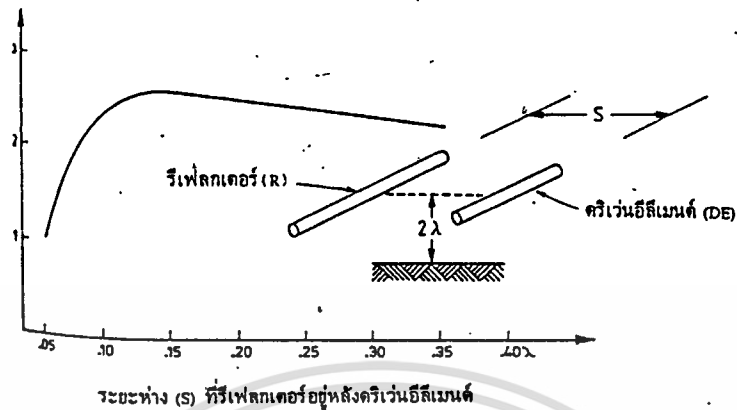
การพัฒนาของ NBS

เมื่อราวแถวๆ พ.ศ.2490 ทาง NBS พยายามศึกษาว่าสายอากาศเช่น ยากิ,คอร์เนอร์รีเฟลกเตอร์, ฮอร์นบิก เป็นต้น) ว่าแบบไหนที่เหมาะสมสำหรับย่านความถี่ VHF ในการติดต่อโดยให้คลื่นแตกกระจาย ในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์ (ที่เรียกว่าปรากฏการณ์ ionospheric scattering) ผลพลอยได้ส่วนหนึ่งจากโครงการนี้ คือ ได้ข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดสำหรับการสร้างสายอากาศวิทยุสำหรับความยาวมุมต่างกัน 6 ความยาวเฉพาะส่วนนี้ก็จะสำเร็จได้ต้องใช้แรงงานคนศึกษาถึง 9 คน-ปี

อย่างไรก็ ผลการศึกษานี้ถูกเก็บกองไว้นานทีเดียว จนกระทั่ง นายโจเซฟ เอช. โรลิ่งตัน จูเนียร์ (W1JR) นักวิทยุสมัครเล่นที่มีผลงานการเขียนบทความในด้าน VHF/UHF มาก ได้ทราบผลการศึกษานี้และมีโอกาสพบกับนายปีเตอร์ เว็ชบิกก็ ก็เขียนรายงานมาแพร่อย่างเป็นทางการลงในวารสาร SPS Technical Note ฉบับที่ 688 ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2519

ผลการศึกษาของ NBS เริ่มเป็นที่รู้จักในหมู่นักวิทยุสมัครเล่นอย่างกว้างขวางเป็นครั้งแรกเมื่อ W1JR ได้นำมาแพร่ในวารสาร ham radio ฉบับประจำเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2520 ถัดจากนั้นก็มียังสื่อ

และวารสารที่เกี่ยวกับวิทยุสมัครเล่นนำไปอ้างอิงถึงอีกมากมาย



รูปที่ 3.6 แสดงผลการทดลองหาอัตราขยายของสายอากาศยาคี สำหรับระยะห่างต่างๆกันระหว่าง รีเฟลคเตอร์และครีเวนอีลิเมนต์ โดยทดลองที่ความสูงจากพื้นดินประมาณ 2λ

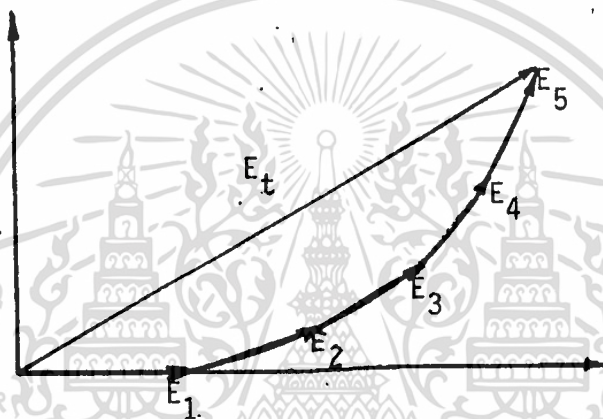
จากรายงานผลการศึกษาของ NBS เพื่อให้ได้ระยะ และขนาดต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับสายอากาศยาคีนั้น (โดยให้สายอากาศยาคีที่วางนี้อยู่ในภาวะรับและทดสอบที่ความถี่ 400 MHz) สามารถสรุปประเด็นที่สำคัญและควรรู้ได้ดังนี้

1. รีเฟลคเตอร์ วิศวกรของ NBS เริ่มต้นศึกษาจากยาคี 2 อิลิเมนต์ก่อนว่าระยะและความยาวของรีเฟลคเตอร์ควรเป็นเท่าไรจึงจะได้อัตราขยายสูงสุด จากผลการทดลองดังในรูปที่ 3.6 พบว่าได้อัตราขยายสูงสุดเป็น 2.6 dB_d เมื่อรีเฟลคเตอร์อยู่หลังครีเวนอีลิเมนต์ 0.2λ โดยระยะนี้ไม่วิกฤตเท่าไรนัก เพราะแม้จะต่างจาก 0.2λ ไปบ้างก็ไม่ทำให้อัตราขยายลดลงไปมากนัก ดังนั้น ในหารทดลองอื่นๆ ถัดจากนี้ของ NBS จึงใช้ระยะห่างระหว่างรีเฟลคเตอร์และครีเวนอีลิเมนต์เป็น 0.2 ตลอด

วิศวกรของ NBS พยายามลองจัดรีเฟลคเตอร์อีกหลายๆ รูปแบบเพื่อดูว่ามีทางเพิ่มอัตราขยายได้อีกบ้างหรือไม่ในที่สุดพบว่าเมื่อเพิ่มรีเฟลคเตอร์อีก 2 อัน (รวมเป็น 3 อัน) แล้วจัดเป็นรูปสามเหลี่ยม (เมื่อมองดูจากด้านข้าง) อย่างที่เรียกว่า trigonal reflector จะได้อัตราขยายเพิ่มขึ้นสูงสุดกว่าแบบที่ใช้รีเฟลคเตอร์อัน เดียวอยู่ 0.75 dB เมื่อทดสอบกับสายอากาศยาคีที่ยาว 4.2λ ซึ่ง NBS คาดว่าน่าจะให้ผลทำนองเดียวกันเมื่อนำไปใช้กับสายอากาศยาคีที่ความยาวมุมอื่นๆ และนำไปใช้ในกรณีที่ต้องการอัตราส่วนระหว่างสัญญาณด้านหน้าต่อด้านหลัง (F/B ratio) สูง

2. ไคเรกเตอร์ เมื่อจัดรีเฟลคเตอร์แล้วก็มาถึงไคเรกเตอร์ซึ่งนับว่าเป็นหัวใจสำคัญสำหรับการออกแบบสายอากาศยาคีเลขที่เดียว จากการทดลองพบว่าทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง, ความยาวและ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.1 แล้วจะเห็นได้ว่าเมื่อใช้สายอากาศที่ไม่ป้อนเป็นตัวสะท้อนคลื่น จะทำให้สามารถเพิ่มอัตราขยายทางด้านหน้าได้ประมาณ 3 dB ถึง 4 dB และถ้าเป็นตัวนำคลื่นก็จะเพิ่มอัตราขยายได้ประมาณ 2dB ถึง 3dB อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีทั้งตัวสะท้อนคลื่น และตัวนำคลื่นและตัวนำคลื่นนั้น อัตราขยายที่เพิ่มขึ้นจะไม่ใช่ผลบวกโดยตรงของค่าที่ได้ในแต่ละกรณี ทั้งนี้อาจจะพิจารณาได้จากเฟสเซอร์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากตัวประกอบแต่ละตัว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.2 กล่าวคือ เฟสเซอร์ของสนามไฟฟ้ารวมก็จะใหญ่ขึ้นตามไปด้วย แต่อัตราที่ใหญ่ขึ้นจะค่อยๆ เล็กลงเมื่อจำนวนตัวนำคลื่นมากขึ้น และเนื่องจากอัตราขยายของสายอากาศเชื่อมโยงโดยตรงกับขนาดของสนามไฟฟ้านี้ ดังนั้นผลที่ได้ก็คือ อัตราขยายของสายอากาศจะสูงขึ้นตามจำนวนตัวประกอบ



รูปที่ 3.2 เฟสเซอร์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากตัวประกอบแต่ละตัวในสายอากาศแบบยาคีโคโพล

ก็จริงแต่อัตราการสูงขึ้น แต่อัตราการสูงขึ้นนี้จะค่อยๆ ต่ำลงเมื่อจำนวนตัวประกอบมากขึ้น รูปที่ 3.3 แสดงตัวอย่างของอัตราขยายที่เพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนตัวประกอบเพิ่มขึ้น จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนตัวประกอบมากกว่า 15 ขึ้นไปการเพิ่มขึ้นตัวนำคลื่นในการเพิ่มอัตราขยายอีกต่อไป

ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นการเลือกความยาวของตัวสะท้อนคลื่นและตัวนำคลื่น เกี่ยวกับระยะห่างกันที่ใช้นั้นส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่าง 0.15λ ถึง 0.25λ เพราะเป็นช่วงห่างที่มีการคับปลิงที่เหมาะสม ทำให้สายอากาศทำงานได้ดี อันที่จริงอัตราขยายของสายอากาศทำงานได้ดี อันที่จริงอัตราขยายของสายอากาศไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนตัวประกอบเพียงอย่างเดียว แต่จะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างตัวประกอบด้วย หรือพูดอีกนัยหนึ่งคือ อัตราขยายจะขึ้นอยู่กับความยาวของแผงสายอากาศเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น (electrical length) นั่นเอง

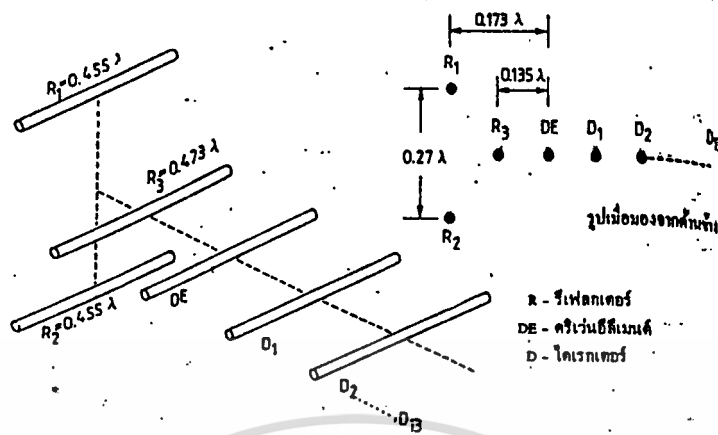
ระยะห่างของโครเรเตอร์ต่างมีผลกระทบถึงกันหมด นอกจากนั้น ยังพบว่ายิ่งใช้จำนวนโครเรเตอร์มากขึ้น(โดยใช้ความยาวบวมเพิ่มขึ้นด้วย) ค่าเหล่านั้นก็ยิ่งวิกฤตมากขึ้น คือมีผลมากขึ้น ขนาดหรือระยะต่างๆผิดเพี้ยนไปหน่อย ก็มีผลต่อการทำงานอย่างเห็นได้ชัดเจนขึ้น

ในการทดลองของ NBS นั้น เขาเลือกใช้โครเรเตอร์ที่มีความยาวต่างๆ กันมาวางให้แต่ละตัวห่างเท่าๆ กัน ตั้งแต่ 0.01λ ถึง 0.40λ บวมที่ยาวขึ้นไปถึง 10λ เมื่อลองเอาผลต่างๆ เหล่านี้มาลองเขียนกราฟดูก็พบว่าระยะห่างที่เหมาะสมที่จะได้อัตราขยายสูงสุด และเมื่อบวมยาวขึ้น ระยะห่างที่เหมาะสมของโครเรเตอร์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้น ยังสามารถเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศได้อีก ถ้าเลือกความยาวของโครเรเตอร์แต่ละอันให้เหมาะสมด้วย ในรูปที่ 3.8 แสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างอัตราขยายสูงสุดที่เขาทดลองได้กับความยาวของบวมต่างๆ กัน สำหรับกรณีที่ทำให้ความยาวของโครเรเตอร์เท่ากันหมด และสำหรับกรณีที่ทำให้ความยาวของโครเรเตอร์แต่ละอันอย่างเหมาะสม

3. เส้นผ่านศูนย์กลางของอิลิเมนต์ ในการทดลอง NBS เขาพบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอิลิเมนต์มีผลต่อความยาวที่เหมาะสมของตัวมันเช่นเมื่อเปลี่ยนโครเรเตอร์ให้อ้วนขึ้น จะต้องเปลี่ยนความยาวให้สั้นลงกว่าในตารางที่ 1 เดิมที่ความถี่จึงจะได้ผลการทดลองอย่างกลางที่ออกแบบไว้ ดังนั้น เขาจึงทำกราฟรูปที่ 3.9 ขึ้นมาเพื่อใช้ได้กับเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างจาก 0.0085λ โดยใช้ได้กับเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่จาก 0.001 ถึง 0.04 วิธีการใช้กราฟในรูปที่ 3.9 จะได้อธิบายถึงในภายหลัง

4. ผลของบวม ข้อมูลทั้งหลายเกี่ยวกับความยาวของแต่ละอิลิเมนต์ของ NBS ได้มาจากการทดลองบนบวมตามเหลี่ยมซึ่งทำจากฉนวนที่เรียกว่า เฟลทชีกลาส จึงเสมือนหนึ่งเป็น *บวมอากาศ* หลังจากที่ NBS ทดลองจนได้ความยาวที่เหมาะสมแล้ว จึงได้ศึกษาผลของของบวมที่ใช้วัสดุต่างๆ กันที่ขนาดต่างๆ กันด้วย ในรายงานของ NBS ระบุว่าเมื่อใช้บวมเป็นได้แล้วผลการทำงานของสายอากาศยากที่จะทำซ้ำเดิมได้เนื่องจากผลของความชื้นของอากาศแม้จะทาน้ำยากันขึ้นแล้วก็ตาม

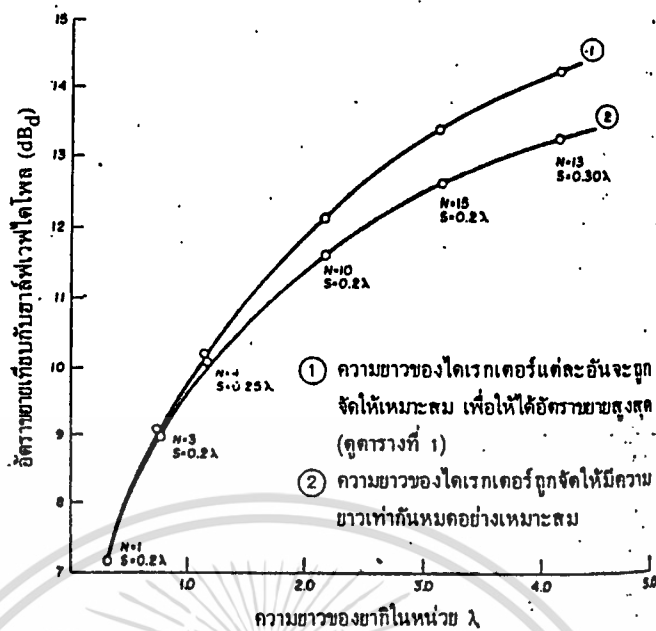
แต่เมื่อใช้บวมเป็นโลหะแล้ว พบว่าสามารถทำซ้ำเดิมได้ง่ายเมื่อเพิ่มความยาวของทุกๆ อิลิเมนต์เพื่อชดเชยผลของบวมในตอนแรกๆ ดูเหมือนว่าเพิ่มความยาวไปด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่งก็พอแล้ว แต่เมื่อลองทำการทดสอบจริง NBS พบว่าบวมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก (เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น) มีผลต่อความยาวของอิลิเมนต์น้อยกว่าบวมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า นั่นคือ ยิ่งบวมใหญ่ ก็ต้องเพิ่มความยาวของอิลิเมนต์มากขึ้น รูปที่ 3.10 แสดงความยาวของทุกอิลิเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้นเมื่อยึดทะลุผ่านบวมกลมขนาดต่างๆ กัน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 0.04λ นอกจากนั้น NBS ยังพบอีกว่าบวมสี่เหลี่ยมและบวมกลมให้ผลเท่ากัน



รูปที่ 3.7 แสดงการจัดรีเฟลคเตอร์ 3 อันเป็นรูปสามเหลี่ยมตามการทดลองของ NBS เพื่อให้ได้อัตราขยายเพิ่มขึ้นสูงที่สุดกว่าการใช้รีเฟลคเตอร์อันเดียวอยู่ 0.75 dB ในการทดลองนี้เขาทดสอบกับสายอากาศยาว 4.2λ เพียงแบบเดียวเท่านั้น และใช้เส้นผ่านศูนย์กลางของทุกอิลิเมนต์เป็น 0.635 ซม.

5. ครีเวนอีลีเมนต์และการแมตช์ ในรายงานของ NBS ระบุว่าความยาวของครีเวนอีลีเมนต์ไม่ค่อยมีผลต่อการทำงาน (ในด้านอัตราขยายและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น) ของสายอากาศที่ยาวแบบนี้เท่าไรนัก トラบดีที่ความยาวของไฟฟ้าใกล้เคียง และยังคงสั้นกว่ารีเฟลคเตอร์ ดังนั้น NBS จึงไม่ได้ระบุรายละเอียดเกี่ยวกับความหมายที่แน่นอนของครีเวนอีลีเมนต์และวิธีการแมตช์มาให้ วิธีการแมตช์จะมีผลตรงที่มักจะทำให้แถบความถี่ใช้งาน (band width) ของสายอากาศแคบลงมาน้อยเพียงใด และบางแบบอาจมีการแผ่คลื่นออกมาด้วย หรือทำให้กระแสน้ำ แต่ละอัน ของครีเวนไม่เท่ากัน ซึ่งมีผลให้รูปแบบการกระจายคลื่นของสายอากาศผิดเพี้ยนไปบ้าง สำหรับการทดลองส่วนใหญ่ของ NBS แล้วจะใช้โฟลเคดโคโพลเป็นครีเวนอีลีเมนต์ โดยมีโคแอกเซียลบาลัน 4:1 และมีสตัปมาช่วยการแมตช์

6. ความแม่นยำในการสร้าง NBS ระบุว่าระยะและขนาดต่างๆ ควรผิดพลาดจากแบบไปไม่เกิน 0.003λ เพื่อให้ได้ผลการทำงานคืออย่างที่ NBS ทดลองเช่นควรผิดพลาดไปไม่เกิน 0.6 ซม. สำหรับย่านความถี่ 145 MHz



รูปที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบอัตราขยายของขาคี สำหรับความยาวของบวม 6 ขนาดเมื่อจัดความยาวของไดเรกเตอร์แต่ละอันให้เหมาะสมเพื่อให้ได้อัตราขยายสูงสุด และเมื่อจัดความยาวของไดเรกเตอร์ให้มีความยาวเท่ากันหมดอย่างเหมาะสม N เป็นจำนวนของไดเรกเตอร์และ 0.2λ และเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของทุกอิลิเมนต์เป็น 0.0085λ)

ขั้นตอนการออกแบบสายอากาศขาคีตามวิธีของ NBS

เมื่อได้ทราบผลการทดลองต่างๆของ NBS แล้ว ลองมาดูว่าจะนำข้อมูลเหล่านั้นมาออกแบบสายอากาศด้วยตนเองได้อย่างไร ขั้นตอนการออกแบบมีดังนี้

1. ขั้นแรกคือ เลือกว่าอยากได้อัตราขยายเท่าไร โดยดูจากตารางที่ 1 แล้วดูว่าที่อัตราขยายที่ต้องการนั้นต้องใช้ความยาวบวมเท่าไรสำหรับย่านความถี่ที่ต้องการใช้งาน ถ้าคิดว่ายาวเกินไป ก็ต้องมาตั้งใจต่อไปว่าจะยอมลดความต้องการในด้านอัตราขยายลงได้หรือไม่เพื่อให้ความยาวของบวมสั้นลง
2. เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอิลิเมนต์ว่าจะเอาค่าใดจาก 0.001λ ถึง 0.04λ (เพื่อให้สามารถใช้กราฟในรูปที่ 3.9) ขนาดที่เลือกนี้ควรแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักของตัวเองได้โดยไม่โก่งงอชิงอิลิเมนต์อื่นขึ้น ก็จะทำให้แถบความถี่ใช้งานของสายอากาศกว้างขึ้น
3. เลือกขนาดของบวมว่าจะใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเท่าไร โดยพิจารณาว่าจะต้องแข็งแรงเพียงพอสำหรับความห่างของบวมที่ต้องการ และกำหนดวิธีชดเชยอิลิเมนต์ด้วยว่า จะยึดลดยเหนือบวมหรือจะยึดทะลุสอดผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบวม(ซึ่งจะต้องชดเชยความยาวของทุกอิลิเมนต์โดยใช้กราฟในรูปที่ 3.10)

ตารางที่ 1 แสดงความยาวที่เหมาะสมของแต่ละอิลิเมนต์ (ยกเว้นอิลิเมนต์) สำหรับสายอากาศขากีที่มีความยาวของบูมต่างกัน 6 ขนาดตามผลการทดลองของ NBS ในทุกกรณีนี้รีเฟลคเตอร์อยู่ห่างจากครีเวนอิลิเมนต์ 0.2λ และเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของทุกอิลิเมนต์เป็น 0.0085λ

ความยาวของบูม (λ)	0.4	0.8	1.2	2.2	3.2	4.2
จำนวนอิลิเมนต์ทั้งหมด	3	5	6	12	17	15
ความยาวของรีเฟลคเตอร์(λ)	0.482	0.482	0.482	0.482	0.482	0.475
ความยาวของไดเรกเตอร์ที่ 1	0.442	0.428	0.428	0.432	0.428	0.424
ที่ 2	-	0.424	0.420	0.415	0.420	0.424
ที่ 3	-	0.428	0.420	0.407	0.407	0.420
ที่ 4	-	-	0.428	0.398	0.388	0.407
ที่ 5	-	-	-	0.390	0.394	0.403
ที่ 6	-	-	-	0.390	0.390	0.398
ที่ 7	-	-	-	0.390	0.386	0.394
ที่ 8	-	-	-	0.390	0.386	0.390
ที่ 9	-	-	-	0.398	0.386	0.390
ที่ 10	-	-	-	0.407	0.386	0.390
ที่ 11	-	-	-	-	0.386	0.390
ที่ 12	-	-	-	-	0.386	0.390
ที่ 13	-	-	-	-	0.386	-
ที่ 14	-	-	-	-	0.386	-
ที่ 15	-	-	-	-	0.386	-
ระยะห่างระหว่างไดเรกเตอร์(λ)	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.308
อัตราขยาย(dBd) ที่ NBS ระบุ	7.10	9.20	10.20	12.25	13.40	14.20
กราฟที่ใช้ในการออกแบบ	A	C	C	B	C	D

4. หาความยาวจริงของโคเรเคเตอร์และรีฟเลกเตอร์สำหรับค่า d/λ ที่ได้จากกราฟในรูปที่ 3.9 โดยใช้เส้นกราฟสำหรับความยาวของบูมนั้น ค่าที่อ่านค่าได้โดยตรงเลยคือ ความยาวของรีฟเลกเตอร์และโคเรเคเตอร์ตัวที่ 1(D1) ส่วนโคเรเคเตอร์ตัวอื่นๆ ต้องใช้วิธีเทียบระยะห่างบนกราฟห่างจากตำแหน่งที่เส้น d/λ นั้นๆ ตัดกับเส้นกราฟ ให้ห่างเท่ากับที่ตำแหน่งที่เส้น 0.0085λ ตัดกับเส้นกราฟห่างจาก แต่ละโคเรเคเตอร์ (ดูค่าจากตารางที่ 1) บนเส้นกราฟ แล้วจึงเทียบว่าเท่ากับความยาวใดสำหรับรายละเอียดครั้งนี้ขอให้ดูจากตัวอย่างการออกแบบจะเข้าใจได้ดีขึ้น

5. ในกรณีที่ขี้อิทธิเมนต์ผ่านกลางบูมโดยสัมผัสทางไฟฟ้า ให้เพิ่มความยาวของทุกอิทธิเมนต์โดยใช้กราฟในรูปที่ 3.10

6. เลือกวิธีการแมตช์ที่จะใช้ และคำนวณความยาวของครีเวนอิทธิเมนต์จากหัวข้อถัดไป เมื่อสร้างเสร็จแล้ว อาจปรับแต่งความยาวของครีเวนอิทธิเมนต์ได้อีกเล็กน้อยเพื่อให้ SWR ดีขึ้น อาจตัดความยาวของครีเวนอิทธิเมนต์ให้ยาวประมาณ 0.466λ ก่อน (ซึ่งเทียบกับใช้ตัวคูณ k เป็นประมาณ 0.93 ก่อน) แล้วจึงค่อยมาตัดให้สั้นลง หรือเพิ่มความยาวขึ้นเล็กน้อยในขณะที่ปรับแต่ง SWR

ครีเวนอิทธิเมนต์ และการแมตช์สายอากาศ

แม้ว่าบทความนี้จะไม่ได้ตั้งใจเน้นเรื่องครีเวนอิทธิเมนต์ และวิธีการแมตช์ เพราะตั้งใจกล่าวถึงแต่เฉพาะวิธีการออกแบบของ NBS เท่านั้น แต่ก็คิดว่าคงเป็นประโยชน์ที่จะมาเล่าถึงวิธีการแมตช์แบบต่างๆ ที่นิยมใช้กันกับสายอากาศ ซึ่งแต่ละแบบต่างก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน

สปลิตไดโพล (split dipole) ในรูปที่ 3.11 (ก) เป็นครีเวนอิทธิเมนต์แบบพื้นฐานที่สุด ถือเป็นฮาล์ฟเวฟไดโพลที่แยกตรงกลางของไดโพลออกเพื่อให้เป็นจุดต่อสำหรับสายนำสัญญาณ แบบนี้มีข้อเสียอยู่ตรงที่ตัวไดโพลมาสัมผัสทางไฟฟ้ากับตัวบูมไม่ได้ จึงต้องมีฉนวนมาคั่น นอกจากนั้นแล้วถ้าใช้สปลิตไดโพลอย่างเดียว จะให้อิมพีแดนซ์ของสายอากาศออกมาต่ำไปหน่อย (เช่นอยู่ในช่วงประมาณ 15 ถึง 25 โอห์ม) จึงต้องใช้วิธีการแมตช์อย่างอื่นมาช่วยยกอิมพีแดนซ์ให้สูงขึ้นสอดคล้องกับสายนำสัญญาณที่ใช้

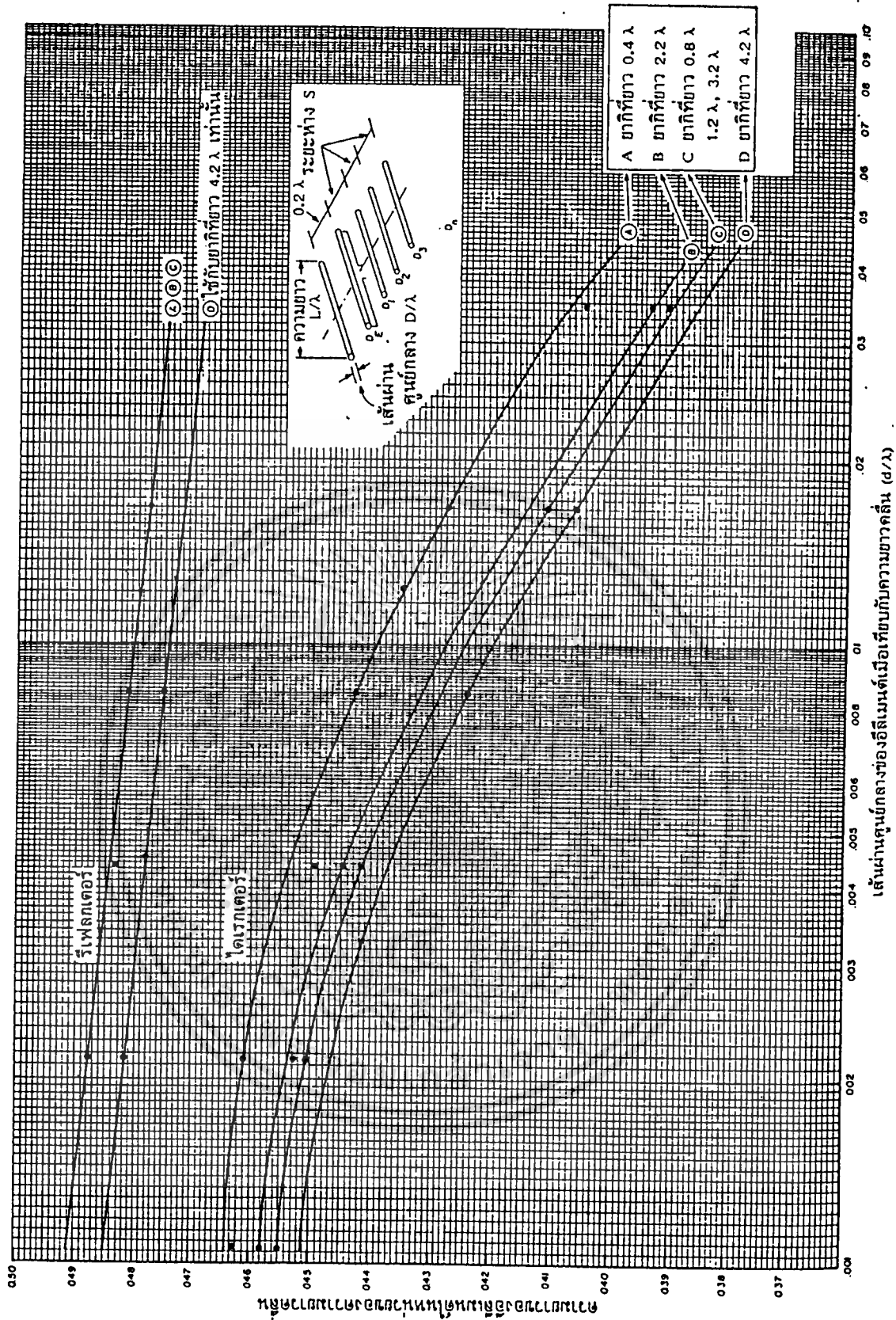
โฟลด์เคไดโพล (folded dipole) ในรูปที่ 3.11 (ข) เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาบางอย่างของสปลิตไดโพลได้ โดยจะช่วยยกอิมพีแดนซ์ของสายอากาศให้ขึ้นมาเป็นประมาณ 4 เท่าของวิธีที่ใช้สปลิตไดโพล จึงอาจใกล้เคียงกับอิมพีแดนซ์ของสายนำสัญญาณได้ง่ายขึ้นนอกจากนั้นจุดกลางของด้านที่อยู่ตรงข้ามกับจุดต่อสายสามารถยึดเข้ากับบูมได้เลยโดยตรง การยึดติดจึงง่ายขึ้น ข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือ โฟลด์เคไดโพลจะให้แถบความถี่ใช้งาน (bandwidth) ได้กว้างกว่าสปลิตไดโพลที่มี

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอิลิเมนต์เท่ากัน ในบางกรณีที่ต้องการเพิ่มอิมพีแดนซ์ของโพลเคคโคโพล ธรรมดายังไม่เหมาะสมกับสายนำสัญญาณที่ใช้ ก็อาจเปลี่ยนซึ่งสามารถจัดอิมพีแดนซ์ให้ตรงตาม ความต้องการได้ดีขึ้น. โดยให้ด้านที่เป็นจุดต่อสายมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างจากด้านตรงข้าม (โดยทั่วไปมักจะให้มีขนาดเล็กกว่า) การเปลี่ยนระยะห่าง(S) และ/หรือการเปลี่ยนอัตราส่วน ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง($d1/d2$) จะช่วยให้สามารถแมตช์อิมพีแดนซ์เข้ากับสายนำสัญญาณต่างๆ ได้ อย่างไรก็ตาม มีนักวิทยุสมัครเล่นหลายคนพบความไม่สะดวกในการใช้โพลเคคโคโพลทั้งในรูปแบบที่ 3.11 (ข) และ 6 (ค) เมื่อใช้กับย่านความถี่ที่สูงกว่า 220 MHz W1HDQ จึงได้ให้วิธีการดัดแปลง เป็นโครง สร้างใหม่ดังรูปที่ 3.11 (ง) ส่วนที่เป็น $d2$ อาจใช้แผ่นโลหะแบนมาทำก็ได้

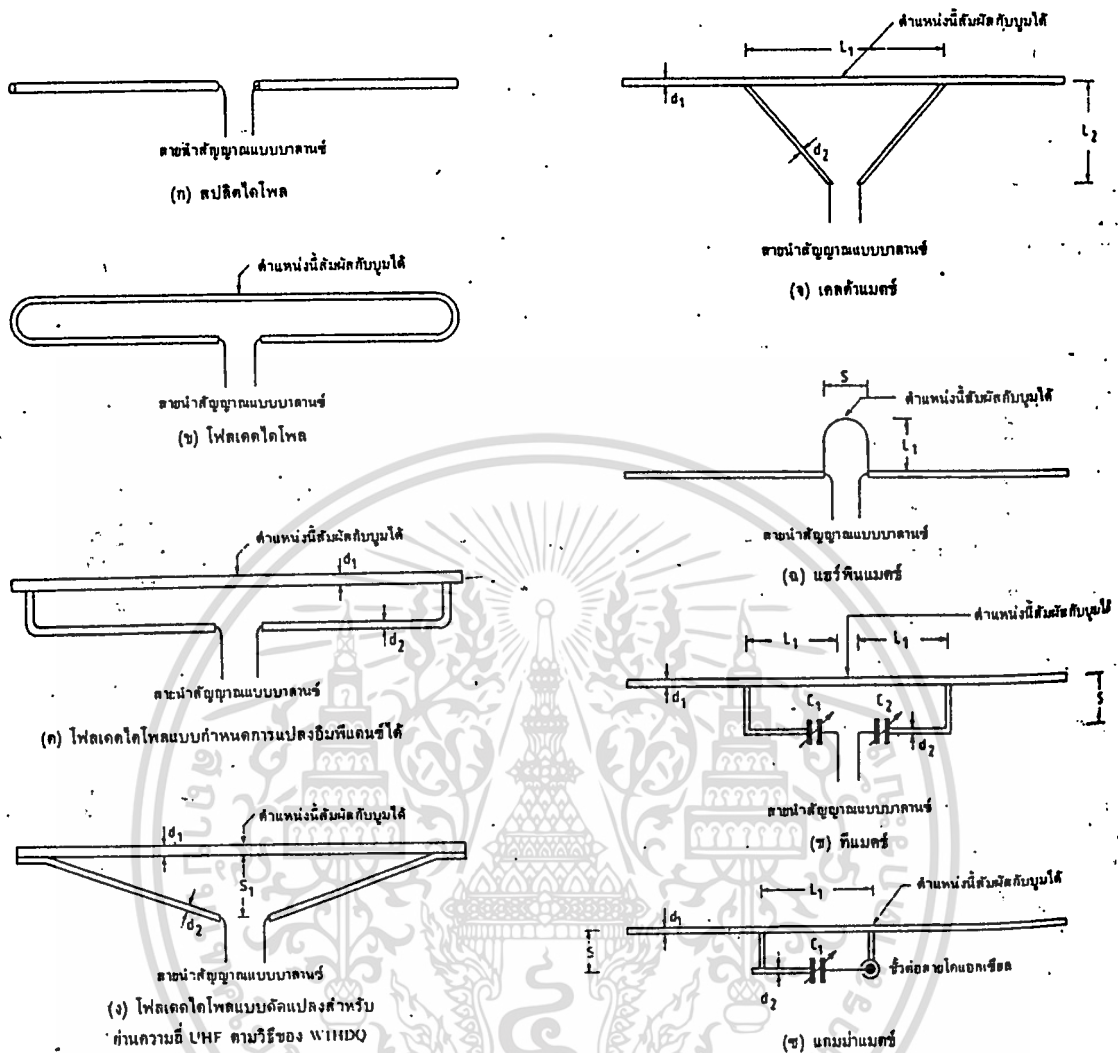
โพลเคคโคโพลทั้งแบบธรรมดาและแบบดัดแปลงที่กล่าวมานี้ สามารถใช้งานได้ดีและเหมาะที่จะ ใช้กับสายนำสัญญาณแบบบาลานซ์ที่นิยมใช้กัน (ที่มีอิมพีแดนซ์ 200 ถึง 300 โอห์ม) เมื่อทดลอง จนแมตช์ได้เรียบร้อยแล้ว ก็สามารถนำมาสร้างตามสำหรับคันอื่นๆ ได้ง่ายข้อเสียที่สำคัญ คือ กว่า จะแมตช์คันแรกได้ต้องใช้วิธีลองเปลี่ยนขนาดไปมาซึ่งวุ่นวายเพาการ โครงสร้างที่ง่ายขึ้นมาอีกหน่อย คือ *เดลต้าแมตช์* (delta match) ดังรูปที่ 3.11(จ) ซึ่งจริงๆ แล้วก็คล้ายกับวิธีของ W1HDQ นั่นเอง เดลต้าแมตช์นั้นสร้างได้ง่าย อิมพีแดนซ์ที่จุดต่อสายขึ้นกับความยาว $L1$ และ $L2$ หรืออัตราส่วน $d1/d2$ แต่ถ้า $L1$ และ $L2$ ยาวมากหน่อยเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น อาจมีการแผ่คลื่นออกมาบ้างทำให้ ประสิทธิภาพของสายอากาศลดลง และ/หรือเพิ่มล้าคลื่นด้านข้างให้มากขึ้น

แฮร์พินแมตช์ (hairpin match) ในรูปที่ 3.11 (ฉ) เป็นวิธีแมตช์อีกแบบหนึ่งที่สร้างได้ง่าย โดยใช้ร่วมกับสปลิตโคโพลแฮร์พินซึ่งหน้าตาเป็นรูปตัวูมาต่อคร่อมจุดต่อสาย ทำหน้าที่เป็นอินดักติ ฟรีแอกแทนซ์เพื่อช่วยขยอิมพีแดนซ์เดิมของสายอากาศยกให้สูงขึ้น ด้วยเหตุนี้ จึงต้องตัดครีเวนอิลิ เมนต์ให้สั้นกว่าความยาวเรโซแนนซ์เพื่อมาชดเชยกับค่าอินดักติฟรีแอกแทนซ์ที่เพิ่มเข้ามานี้ อิมพีแดนซ์ ที่จุดต่อสายขึ้นกับระยะห่าง S และความยาว $L1$

รูปที่ 3.11(ข) เป็นวิธีที่เรียกว่า ทีแมตช์ (T match) ทีแมตช์ทำงานคล้ายกับเดลต้าแมตช์แต่มี ปัญหาการแผ่คลื่นน้อยกว่ามาก การปรับอิมพีแดนซ์ทำได้โดยเปลี่ยนค่า $L1$ และ S และ/หรืออัตรา ส่วน $d1/d2$ ตัวเก็บประจุ $C1$ และ $C2$ ทำหน้าที่หักล้างค่าอินดักติฟรีแอกแทนซ์ที่เหลืออยู่ของส่วนที่ เป็น $d2$ ในบางกรณีถ้าลดความยาวของครีเวนอิลิเมนต์ลงเล็กน้อย ก็อาจทำให้ไม่ต้องใช้ $C1$ และ $C2$ ได้ ข้อเสียที่สำคัญของทีแมตช์คือ การใช้ตัวเก็บประจุ (ถ้าใช้) ซึ่งอาจทำให้กำลังส่งและสภาพความชื้น ของอากาศมีผลต่อการทำงาน นอกจากนั้น โครงสร้างของทีแมตช์อาจไม่สะดวกในการสร้างสำหรับ ย่านความถี่ที่สูงกว่า 450 MHz

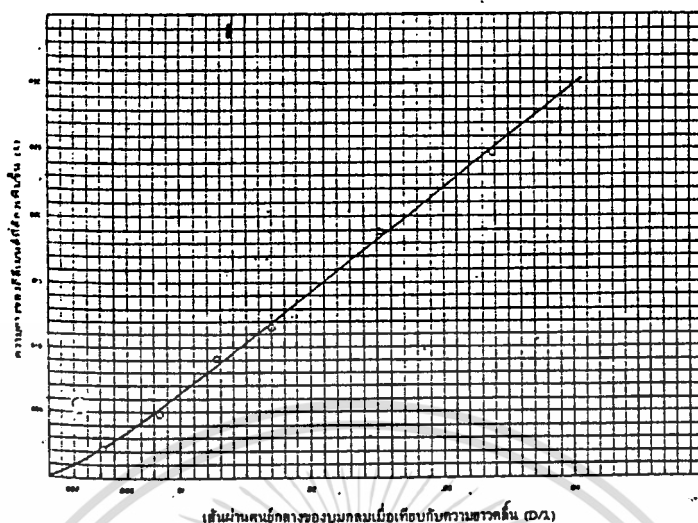


รูปที่ 3.39 กราฟช่วยการออกแบบสายอากาศยาคี NBS รายละเอียดวิธีการใช้กราฟนี้อธิบายในเนื้อเรื่อง



รูปที่ 3.11 แสดงครีเวนอติเมนต์ และวิธีการแมตซ์แบบต่างๆ ที่นิยมใช้กับสายอากาศ

วิธีการแมตซ์ทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นแบบเกมม่าแมตซ์ เป็นแบบบอลลูนสายนำสัญญาณที่ มาต่อดัวยังต้องเป็นแบบบอลลูนด้วย ถ้าเอาสายนำสัญญาณแบบไม่บอลลูน (เช่น สายโคแอกเชียล) มาต่อโดยตรง อาจมีการแผ่คลื่นออกมาจากสาย ซึ่งอาจทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นผิดเพี้ยนไป และอาจทำให้อัตราขยายของสายอากาศลดลง ดังนั้นในทางปฏิบัติที่นิยมใช้สายนำสัญญาณแบบโค แอกเชียล จึงต้องมี บาลูน (balun) มาต่อกันระหว่างสายโคแอกเชียลและสายอากาศเพื่อทำการบิบบไม่ ให้มีกระแสไหลที่ผิวของสายชีลด์ โดยทั่วไปเรานิยมให้วิธีการแมตซ์แบบบอลลูนเหล่านี้ยกิมพี

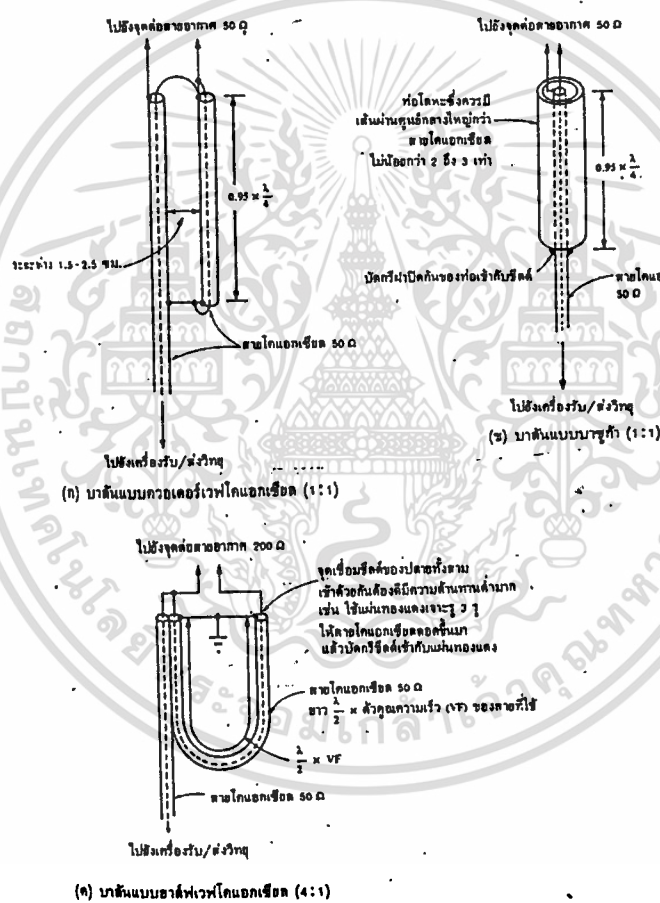


รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความยาวของอิลิเมนต์ที่ต้องเพิ่มขึ้นจากผลการทดลองของ NBS เมื่อใช้คิลิเมนต์ ทะลุผ่านเส้นผ่านศูนย์กลางของบวมกลม โดยสัมผัสทางไฟฟ้ากับบวมด้วย

วิธีสุดท้ายที่ขอแนะนำในที่นี้ คือเกมม่าแมตช์(gamma match) ในรูปที่ 3.11(ข) ซึ่งเป็นแบบ ลดรูปของทีแมตช์ คือมีเพียงหนึ่งเดียวของทีแมตช์ การแมตช์แบบนี้เหมาะสำหรับใช้สายโคแอกเซียล โดยตรงโดยไม่ต้องใช้บาลันช่วยเหมือนการแมตช์โดยวิธีอื่นทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วเรียกว่าใช้กับสายนำ สัญญาณแบบไม่บาลานซ์ได้โดยตรง ข้อเสียของเกมม่าแมตช์เป็นเช่นเดียวกับทีแมตช์ คือมีการใช้ตัว เก็บประจุ และมีความยุ่งยากด้านโครงสร้าง ในบางกรณีอาจหลีกเลี่ยงการใช้ตัวเก็บประจุโดยตรงได้ โดยใช้สายโคแอกเซียลสั้นๆ ที่ถอดเอาชีลด์และฉนวนหุ้มภายนอกออกหมด (เหลือแต่ลวดตัวนำตรง กลาง และโคอิเล็กทริก) มาสอดในท่อ d2 ซึ่งมีขนาดพอดีกับสายปลายลวดตัวนำตรงกลางที่โผล่ออก มาจากท่อจะเป็นขั้วสำหรับต่อกับลวดตัวนำตรงกลางของสายโคแอกเซียล ที่จะไปหาเครื่องรับ/ส่งวิทยุ ตัวท่อ d2 และลวดตัวนำตรงกลางของสายโคแอกเซียลจะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุ C1 การปรับค่า C1 ทำได้โดยการปรับความยาวของสายโคแอกเซียลสั้นๆนี้ เมื่อปรับแต่งเสร็จ ก็หาทางป้องกันไม่ให้ น้ำ และความชื้นเข้าไปยุ่งกับสายโคแอกเซียลสั้นๆเส้นนี้ วิธีนี้จะช่วยลดผลของกำลังส่ง และความชื้น ลงได้

แกนของสายอากาศขึ้นมาเป็นประมาณ 200 โอห์ม แล้วใช้บาตันแบบ 4:1 มาแปลงอิมพีแดนซ์ของสายโคแอกเซียล 50 โอห์ม ให้ขึ้นมาเป็น 200 โอห์ม แบบบาลานซ์เพื่อให้แมตซ์นั้น มักจะถูกใช้เพื่อยกอิมพีแดนซ์ขึ้นมาเป็น 50 โอห์ม เพื่อใช้กับสายโคแอกเซียล 50 โอห์มโดยตรง รูปที่ 3.12 แสดงหน้าตาของบาลันแบบต่างๆที่สร้างได้ง่ายและนิยมใช้กัน

ในทางปฏิบัติอาจดูแนวทางว่าขนาดและระยะต่างๆ ของการแมตซ์แบบต่างๆเป็นอย่างไรได้จากสายอากาศอื่นที่มีขนาดใกล้เคียงกันสำหรับย่านความถี่ที่ต้องการ แล้วลองเอาขนาดและระยะต่างๆ นั้นมาเป็นจุดเริ่มต้นในการสร้างแล้วจึงลองปรับแต่งจนกระทั่งได้ค่า SWR ต่ำที่สุด



รูปที่ 3.12 แสดงรายละเอียดของบาลันแบบต่างๆที่สร้างได้ง่ายและนิยมใช้กันสำหรับระบบอิมพีแดนซ์ 50 โอห์ม

ตัวอย่างการออกแบบ

สมมุติว่าต้องการออกแบบสายอากาศยักตามแบบของ NBS ให้ได้อัตราขยาย 10.2 dBi ที่มีความถี่กลาง 50.1 MHz โดยใช้อิเลเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มม. ติดบนฉนวนเหนือบุนๆ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มม. ด้วยอัตราขยายค่านี้คือการออกแบบสำหรับบุนยาว 1.2 นั่นเอง

หาความยาวคลื่นได้ดังนี้

$$\lambda = 29980/f(\text{MHz}) = 29980/50.1 = 598.4 \text{ ซม.}$$

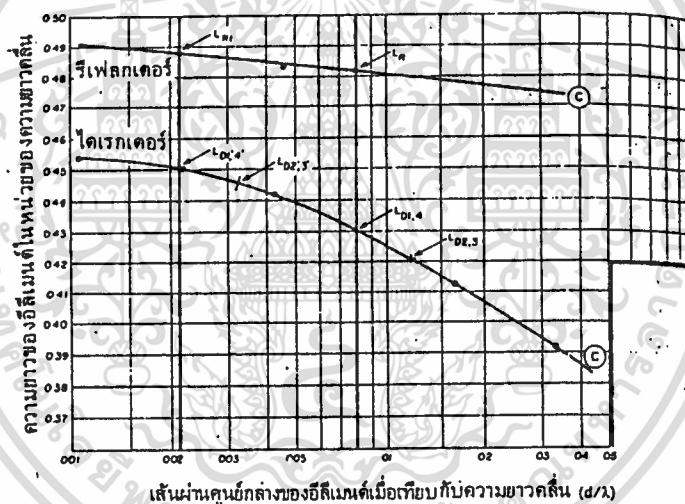
$$\therefore d/\lambda = 1.3 \text{ ซม.}/598.4 \text{ ซม.} = 0.0021\lambda$$

จากตารางที่ 1 สำหรับบุนยาว 1.2λ และ $d/\lambda = 0.0085\lambda$ ตามที่ NBS ทดลองจะได้

$$Lr' = 0.428\lambda$$

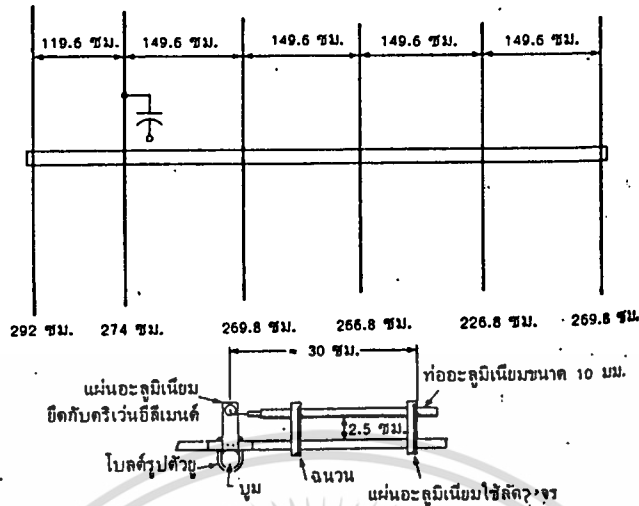
$$Ld1' = Ld4' = 0.428\lambda$$

$$Ld2' = Ld3' = 0.420\lambda$$



รูปที่ 3.13 แสดงการใช้กราฟช่วยการออกแบบสายอากาศยักตามตัวอย่างที่ 1 เพื่อให้ได้สายอากาศ 6 อี สำหรับความถี่ 50.1 MHz บนบุนยาว 1.2λ

ลากเส้นตั้งจาก $d/\lambda = 0.0085\lambda$ ขึ้นไปตัดกับเส้นกราฟ C ของทั้งรีเฟลกเตอร์และไดเรกเตอร์ (ก็คือ จุดที่ $Lr = 0.482\lambda$ และ $Ld1 = 0.428$ ตามที่แสดงในตารางที่ 1 นั่นเอง) ลากเส้นนอนจากความยาวอิเลเมนต์ 0.420 ของ $Ld2$ และ $Ld3$ มาตัดกราฟ C ของไดเรกเตอร์จะได้ตำแหน่ง $Ld2$ และ $Ld3$ บนเส้นกราฟ



รูปที่ 3.14 แสดงผลการออกแบบสายอากาศยาคี 6อี สำหรับความถี่ 50.1 MHz บนบวม 1.2 λ ทุกอติเม้นต์ใช้ท่ออะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มม. ยึดติดกับบวมเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มม. ด้วยฉนวนตัวเก็บประจุของแกมมาทำจากสายโคแอกเซียลเบอร์ RG-8/U โดยดึงเอาฉนวนและชีลด์ออก แล้วสอดเข้าไปในท่ออะลูมิเนียมขนาด 10 มม.

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเราต้องการให้ d/λ เป็น 0.0021 λ ขึ้นไปสัมผัสกับกราฟ C จะได้ความยาว Lr' และ $Ld1',4'$ (เพราะ $Ld4 = Ld1$) ซึ่งเป็นความยาวของรีเฟลคเตอร์ และ D1 สำหรับ d/λ เป็น 0.0021 λ ต่อไปเป็นการหาค่าแห่งของ $Ld2'$ และ $Ld3'$ สำหรับ d/λ เป็น 0.0021 λ วิธีการหาให้เริ่มต้นหาว่าตำแหน่ง $Ld2$ และ $Ld3$ อยู่ห่างจากตำแหน่ง $Ld1$ บนกราฟอยู่เท่าไรด้วยการใช้วงเวียนวัดระยะ $Ld1,4$ และ $Ld2,3$ แล้วจึงย้ายมาที่ตำแหน่ง $Ld1'$ โดยให้ปลายหนึ่งปักที่ $Ld1'$ แล้วดูว่าวงเวียนนั้นตัดเส้นกราฟ C สำหรับโคเรกเตอร์ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งนั้นคือ $Ld2',3'$ (ดูรูปที่ 3.13) ลากเส้นนอนจาก $Lr', Ld1,4$ และ $Ld2',3'$ ไปพบกับแกนความยาวของอติเม้นต์ทางซ้ายมือสุด ก็จะได้ว่า

$$Lr' = 0.428\lambda$$

$$Ld1' = Ld4' = 0.451\lambda$$

$$Ld2' = Ld3' = 0.446\lambda$$

เนื่องจากทุกอติเม้นต์ไม่ได้สัมผัสทางไฟฟ้ากับบวมเลย จึงไม่ต้องมีการชดเชยความยาวใดๆ เราจะได้ความยาวจริงของแต่ละอติเม้นต์เป็นดังนี้

$$\text{รีเฟลกเตอร์} = 0.488\lambda$$

$$= 292.0 \text{ ซม.}$$

$$\text{โคเรกเตอร์ 1} = 0.451\lambda$$

$$= 269.8 \text{ ซม.}$$

$$\text{โคเรกเตอร์ 2} = 0.446\lambda$$

$$= 266.8 \text{ ซม.}$$

$$\text{โคเรกเตอร์ 3} = 0.446\lambda$$

$$= 266.8 \text{ ซม.}$$

$$\text{โคเรกเตอร์ 4} = 0.451\lambda$$

$$= 269.8 \text{ ซม.}$$

ความยาวของครีเวนอิลิเมนต์โดยประมาณหาได้จาก

$$L_{de} = 0.466\lambda = 278.9 \text{ ซม.}$$

ระยะห่างต่างๆ ระหว่างแต่ละอิลิเมนต์ได้มาจากตารางที่ 1 สำหรับสายอากาศต้นนี้เลือกใช้วิธีการแมตช์เป็นแบบเกมม่าแมตช์โดยใช้สายโคแอกเซียลมาทำเป็นตัวเก็บประจุ หลังจากสร้างเสร็จแล้วได้ตัดความยาวของครีเวนอิลิเมนต์ลงเหลือ 274 ซม. เพื่อให้ได้ค่า SWR ที่ดีขึ้น ผลลัพธ์ทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3.14

บทที่ 4

การออกแบบและใช้งานโปรแกรม

4.1 บทนำ

เนื่องโปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศเป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูปซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการช่วยให้สามารถออกแบบสายอากาศและปรับแต่งคุณสมบัติของสายอากาศได้ง่ายขึ้น การออกแบบจึงต้องคำนึงถึงจุดนี้เป็นหลักรวมถึงการใช้งานได้คล่องตัว

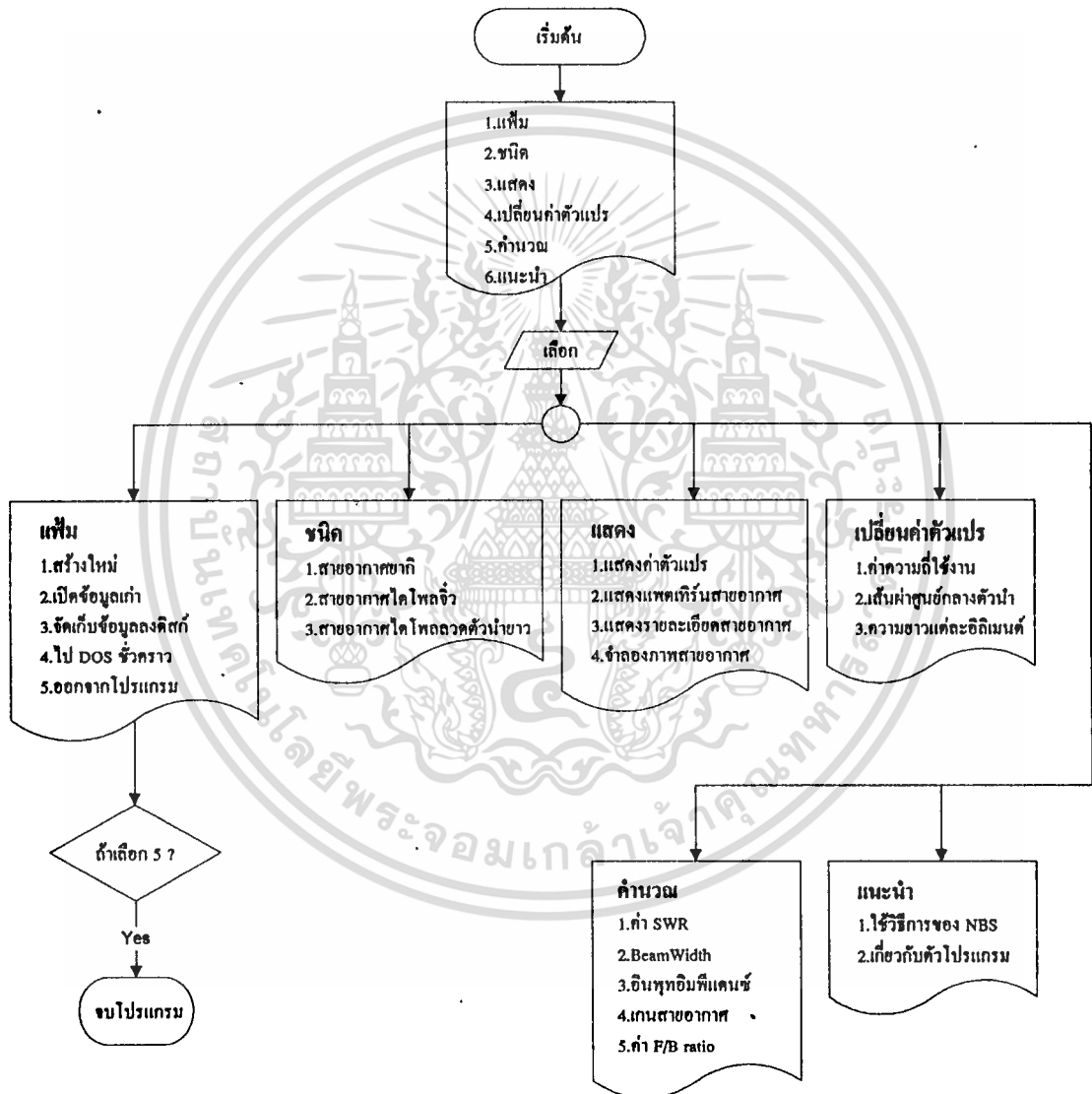
4.2 การออกแบบโปรแกรม

การออกแบบโปรแกรมเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน การใช้คำสั่งหรือการเลือกขั้นตอนการปฏิบัติงานจึงออกแบบให้เป็นลักษณะของพูลอัพ-พูลดาวน์ เมนู ซึ่งสามารถให้บริการในจุดนี้ได้เป็นอย่างดีเนื่องจากการสั่งงานหลักจะเป็นลักษณะการพิมพ์คำสั่งลงไปบนแป้นพิมพ์(keyboard) เราสามารถใช้เป็นลักษณะการเลือกจากรายการเมนู(menu) ที่ปรากฏบนหน้าจอ สามารถป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดจากการพิมพ์คำสั่งผิดอีกด้วย อีกทั้งคำนึงถึงความสวยงามในการใช้งานจึงออกแบบให้ทำงานบนกราฟฟิคโหมด(graphics mode) ที่ซึ่งปกติแล้วการเขียนโปรแกรมในโหมดตัวอักษร(text mode) นั้นก็ยุ่งยากเพียงพออยู่แล้ว ทำให้การพัฒนายุ่งยากขึ้นไปอีกและที่สำคัญจะเป็นผลทำให้ซอฟต์แวร์มีขนาดใหญ่มาก

นอกจากนั้นเพื่อให้เกิดความสะดวกอีกประการหนึ่งแก่ผู้ใช้นั้นคือ เมื่อออกแบบสายอากาศเสร็จแล้วสามารถเก็บ(save) ลงบนแผ่นดิสเก็ตต์(diskette) และสามารถเรียก(load) ใช้งานในภายหลังได้

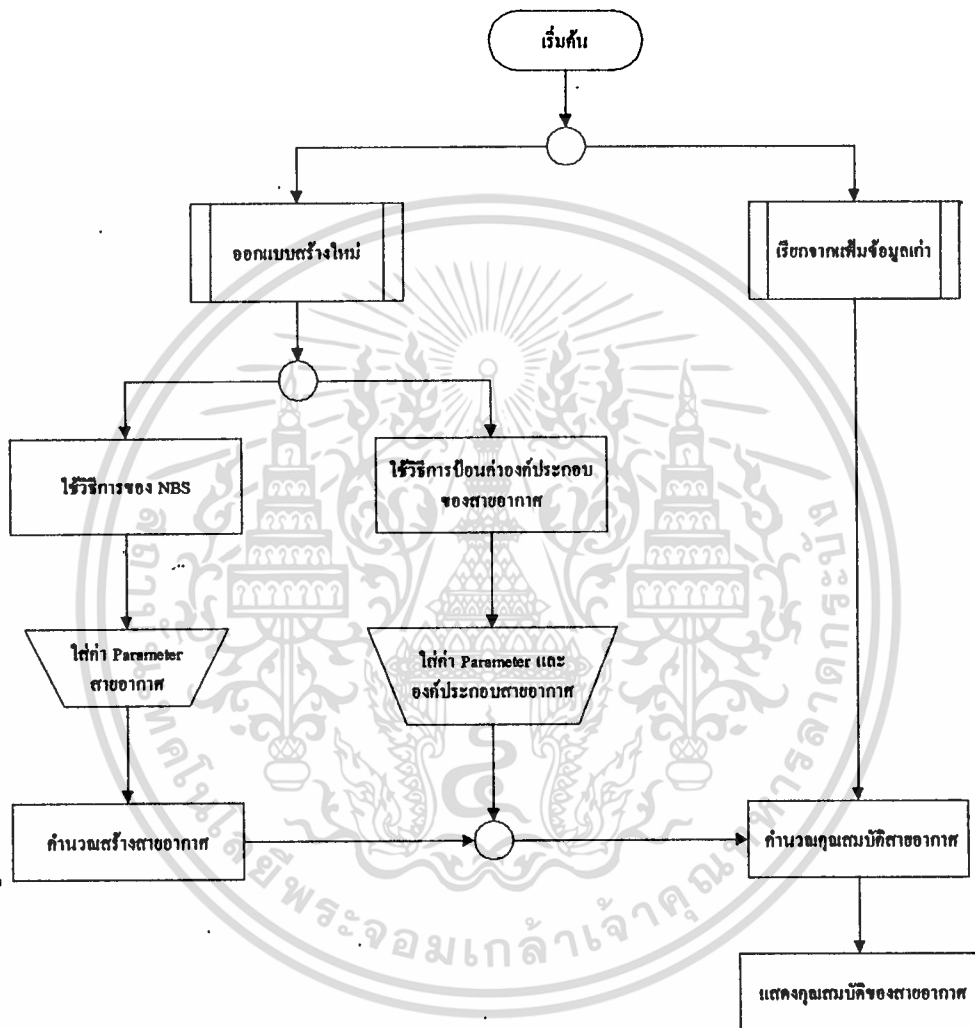
จากการที่โปรแกรมมีการคำนวณมากและซับซ้อนพอสมควรการเลือกใช้ภาษา(language) คอมพิวเตอร์ในการพัฒนาจึงจำเป็นต้องใช้ภาษาขั้นสูงที่สามารถคอมไพล์(compile) โค้ดที่ประมวลได้เร็วและกระทัดรัด ภาษา C จึงถูกเลือกใช้เพราะเป็นภาษาขั้นสูงที่มีประสิทธิภาพและยังง่ายต่อการพัฒนา เป็นผลทำให้โปรแกรมสามารถคำนวณได้รวดเร็ว แต่ทั้งนี้ก็ยังต้องขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ ถ้าเครื่องคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพสูงโดยเฉพาะถ้ามีตัวช่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์(Math-coprocessor) แล้วจะทำให้การคำนวณรวดเร็วมากขึ้นไปอีกมาก ช่วยลดเวลาในการออกแบบได้

สำหรับแผนภูมิสายงาน(Flow Chart) ของโปรแกรมที่ออกแบบใช้งานจะมีลักษณะดังแสดง
ในรูปที่ 4.1-4.2



รูปที่ 4.1 แสดงแผนภูมิสายงาน(Flow Chart) หลักของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงแผนภูมิสายงาน(Flow Chart) ช่วยออกแบบสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ทฤษฎีและส่วนประกอบที่จำเป็นในการใช้งานโปรแกรม

ก่อนที่ใช้งานโปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศนี้จำเป็นที่จะต้องเตรียมทรัพยากรที่จำเป็นในการ RUN โปรแกรมซึ่งมีดังนี้

1). เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 16 บิต IBM-PC ใช้ CPU 80286 ขึ้นไป ถ้าจะให้ดีและทำงานเร็วควรจะเป็น 80486 เนื่องจากมีการคำนวณเยอะมาก

2). จอภาพแสดงผล(display screen) และการ์ดแสดงผลแบบ VGA

3). ใช้ระบบปฏิบัติการดอส(Disk Operating System : DOS)

4). ต้องการพื้นที่ในดิสค์ประมาณ 250 Kbytes และ หน่วยความจำหลัก(main memory) ประมาณ 570 Kbytes

นอกจากนั้นในการใช้งานโปรแกรมยังต้องการส่วนประกอบอื่นๆ อีกซึ่งเป็นแฟ้มข้อมูลและรูปแบบตัวอักษร โดยจะถูกบรรจุอยู่ในแผ่นดิสเก็ตต์เพียงแผ่นเดียว ประกอบไปด้วย

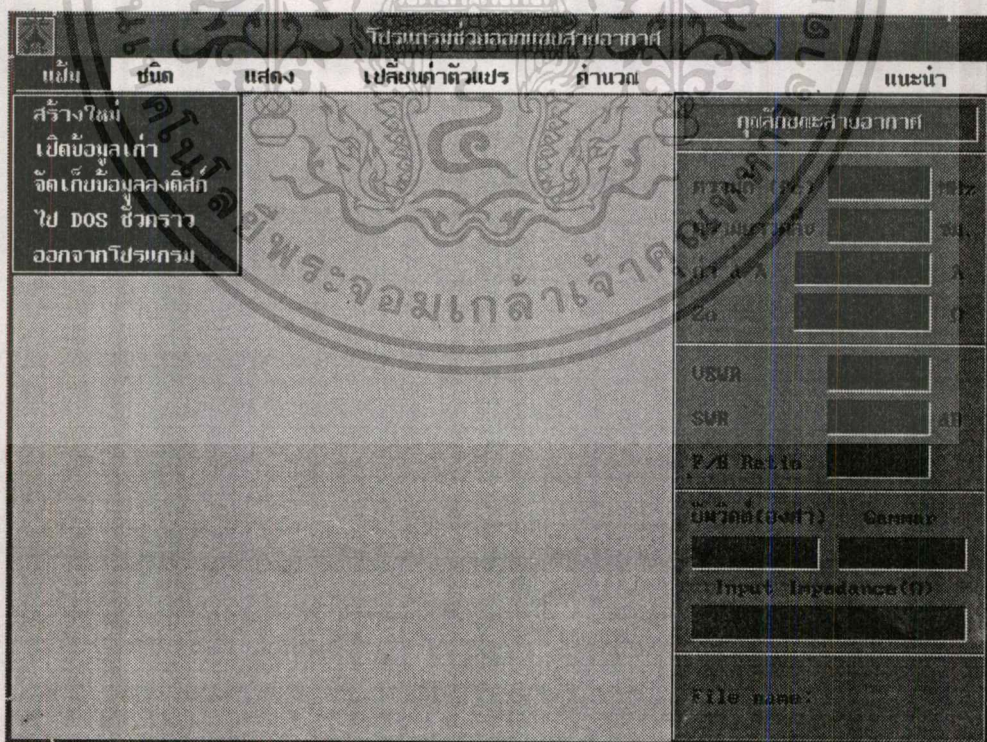
COMMAND.COM	เป็นโปรแกรมของระบบปฏิบัติการ ใช้ในการควบคุมระบบการจัดการเกี่ยวกับแฟ้มและดิสเก็ตต์
HDAP.BAT	เป็นโปรแกรมเรียกใช้งานโปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศ และทำการเรียก driver สำหรับการพิมพ์กราฟฟิก
HDAP.EXE	เป็นโปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศที่ใช้งาน ใช้ในการช่วยออกแบบและวิเคราะห์สายอากาศ
DESIGN.DAT	เป็นแฟ้มข้อมูล ใช้เมื่อทำการออกแบบสายอากาศขาไกโคโพลตามหลักวิธีการของ NBS
THAIENG.FON	เป็นแฟ้มรูปแบบตัวอักษรภาษาไทยและอังกฤษรวมถึงอักขระพิเศษทางคณิตศาสตร์บางตัว
GRAPHICS.COM	เป็น driver สำหรับการพิมพ์กราฟฟิควาง Printer ใช้ได้กับเฉพาะจอแสดงผลแบบ VGA เท่านั้น
MOUSE.COM	เป็น mouse driver สำหรับการใช้เมาส์สั่งงานเมนู ใช้กับเมาส์แบบสองปุ่ม

นอกจากนั้นยังมีแฟ้มข้อมูลที่มีส่วนขยายหรือนามสกุล (Extension name) เป็น *.ant ซึ่ง เป็นแฟ้มข้อมูลสายอากาศเกิดจากการเก็บข้อมูลจากการออกแบบลงดิสค์ บางแฟ้มจะเป็นตัวอย่างของสายอากาศที่ได้จัดทำไว้

ในส่วนของเมนูนั้นประกอบไปด้วยเมนู เพิ่ม, ชนิด, แสดง, เปลี่ยนค่าตัวแปร, คำนวณ และแนะนำ ในแต่ละเมนูหลักจะมีเมนูย่อยต่างๆกันตามหัวข้อของเมนูหลัก ซึ่งจะได้ทำการอธิบายหน้าที่การทำงานในแต่ละเมนูย่อยต่อไป

เมนูเพิ่ม ประกอบด้วยเมนูย่อย 5 อันได้แก่

- สร้างใหม่ เป็นเมนูย่อยที่มีหน้าที่สร้างสายอากาศใหม่ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสายอากาศที่กำหนดจากเมนูชนิด
- เปิดข้อมูลเก่า มีหน้าที่เรียกใช้สายอากาศเดิมที่ได้เคยออกแบบไว้ แล้วเก็บเป็นเพิ่มข้อมูลไว้ซึ่งจะเป็นแฟ้มที่มีนามสกุล *.ant
- จัดเก็บเพิ่มข้อมูล มีหน้าที่จัดเก็บองค์ประกอบของสายอากาศที่ได้ออกแบบไว้เป็นแฟ้มเก็บไว้ที่แผ่นดิสก์บนไครฟ์ปัจจุบันมีนามสกุลเป็น *.ant
- ออกไปคอสซักราว มีหน้าที่ให้บริการติดต่อกับระบบปฏิบัติการคอสเป็นการทำงาน และการสามารถกลับสู่โปรแกรมปกติได้โดยพิมพ์คำสั่ง exit
- ออกจากโปรแกรม มีหน้าที่สิ้นสุดการทำงานของโปรแกรมแล้วกลับสู่คอสปกติใช้เมื่อต้องการเลิกใช้งานโปรแกรมหรือโดยการกด Alt-x



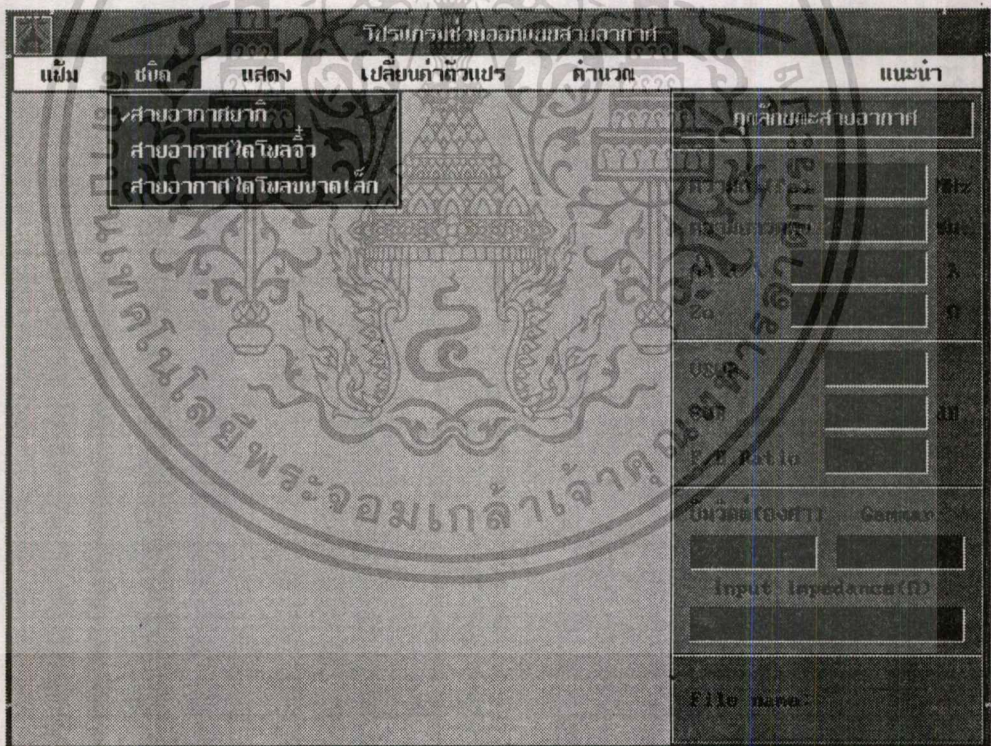
รูปที่ 4.4 แสดงเมนูเพิ่มและเมนูย่อยในเมนูเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมนูชนิด ประกอบด้วยเมนูย่อย 3 อันได้แก่

- สายอากาศขาคีโดโพล เป็นเมนูย่อย ใช้สำหรับเลือกชนิดของสายอากาศที่ต้องการออกแบบเป็นสายอากาศแบบขาคีโดโพล
- สายอากาศไดโพลขนาดเล็ก เป็นเมนูย่อย ใช้สำหรับเลือกชนิดของสายอากาศที่ต้องการออกแบบเป็นสายอากาศไดโพลขนาดเล็ก
- สายอากาศไดโพลลวดตัวนำยาว เป็นเมนูย่อย ใช้สำหรับเลือกชนิดของสายอากาศที่ต้องการออกแบบเป็นสายอากาศแบบไดโพลลวดตัวนำยาว

ซึ่งการเลือกเมนูย่อยในแต่ละอันนั้นจะมีเครื่องหมาย ✓ แสดงสถานะของการเลือกว่าได้เลือกชนิดของสายอากาศแบบไหนอยู่ แต่ปกติเมื่อเรียกใช้งานโปรแกรมครั้งจะมีค่า default เป็นสายอากาศขาคีโดโพล



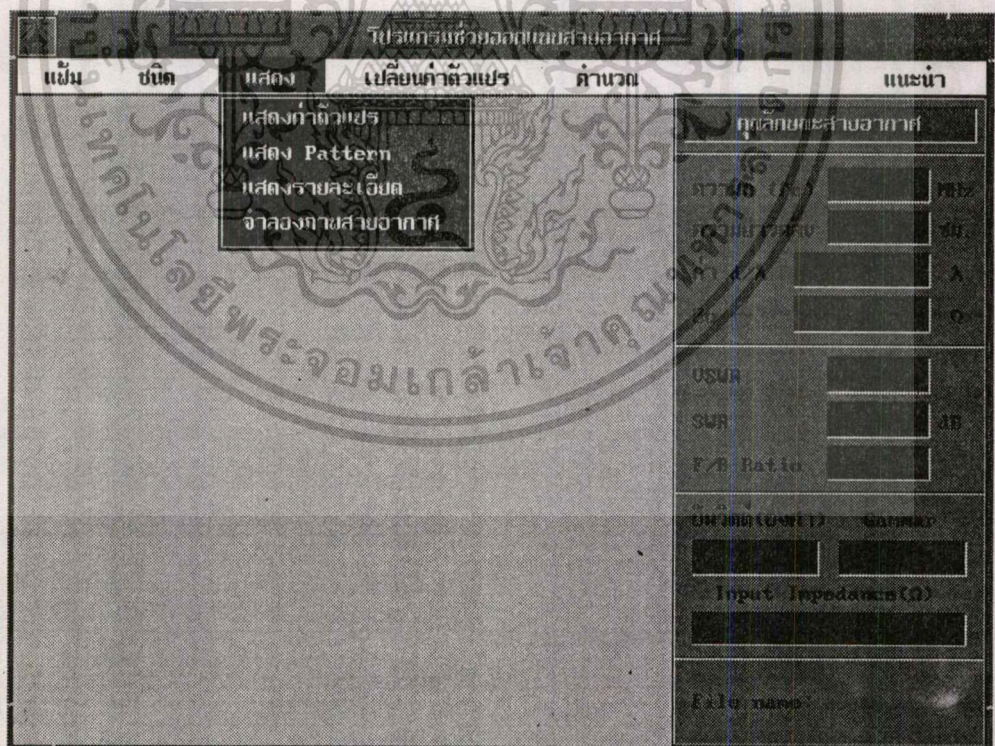
รูปที่ 4.5 แสดงเมนูชนิดและเมนูย่อยในเมนูชนิด

การเลือกใช้งานเมนูชนิดนี้จะมีผลทำให้การออกแบบสายอากาศที่ทำไว้ใหม่ก่อนหน้าที่จะมีการเลือกสายอากาศชนิดใหม่จากเมนูนี้เป็นอันโมฆะไป และจะต้องเริ่มต้นสร้างสายอากาศใหม่โดยเมนูแฟ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมนูแสดง ประกอบด้วยเมนูย่อย 4 อันได้แก่

- แสดงค่าตัวแปร เป็นเมนูย่อย มีหน้าที่แสดงคุณลักษณะของสายอากาศ ได้แก่ ความถี่ใช้งาน, ความยาวคลื่น และค่าที่วิเคราะห์คำนวณได้ เป็นต้น ซึ่งจะแสดงผลบนจอทางขวามือ ซึ่งในตอนเริ่มต้นจะแสดงไว้อยู่แล้ว
- แสดงแพทเทิร์นสายอากาศ มีหน้าที่คำนวณหาแพทเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศ ที่ออกแบบและแสดงผลออกมาบนหน้าจอ จะทำงานสลับระหว่าง E-plane และ H-plane
- แสดงรายละเอียด มีหน้าที่แสดงรายละเอียดของสายอากาศที่ออกแบบอย่างคร่าวๆ
- แสดงภาพจำลองสายอากาศ เป็นเมนูย่อย สำหรับเพื่อดูลักษณะของสายอากาศที่ออกแบบ โดยจะจำลองเป็นภาพประกอบพร้อมแสดงรายละเอียดของสายอากาศ



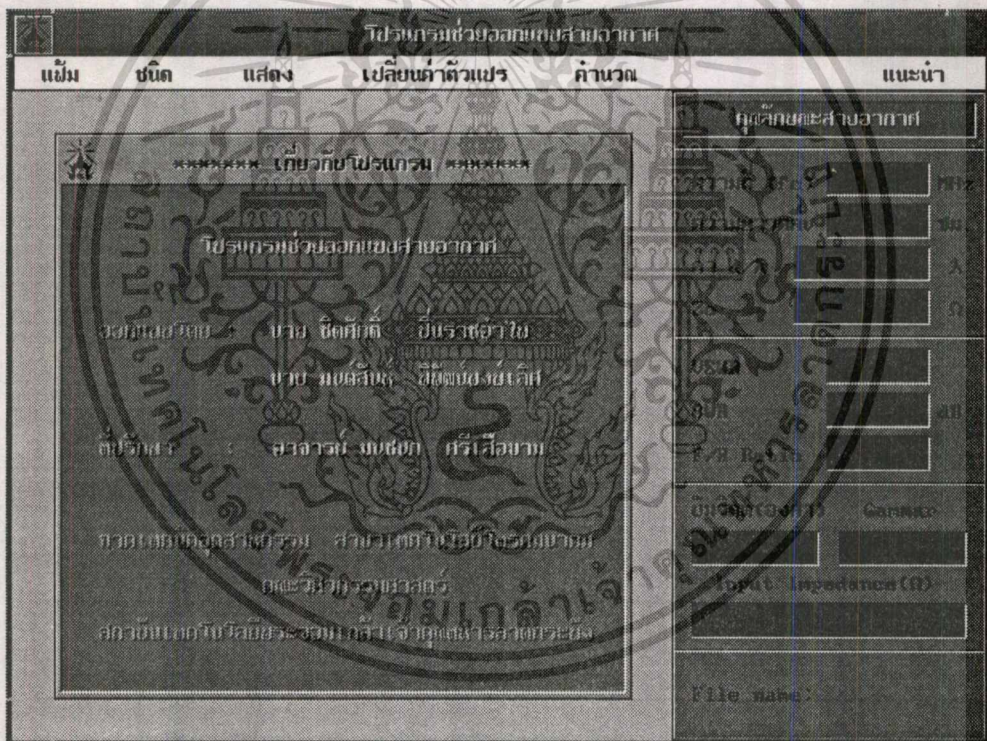
รูปที่ 4.6 แสดงเมนูแสดงและเมนูย่อยในเมนูแสดง

4.4 แนะนำวิธีการใช้งานโปรแกรม

การใช้งานโปรแกรมเริ่มต้นควรตรวจสอบทรัพยากรและส่วนประกอบในการใช้งานก่อน
หลังการเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าสู่ระบบปฏิบัติการคอส จากนั้นจึงใส่แผ่นดิสเก็ตต์ไปในดิสไดรฟ์
เปลี่ยนไดรฟ์ไปที่ไดรฟ์ A และเรียกคำสั่ง

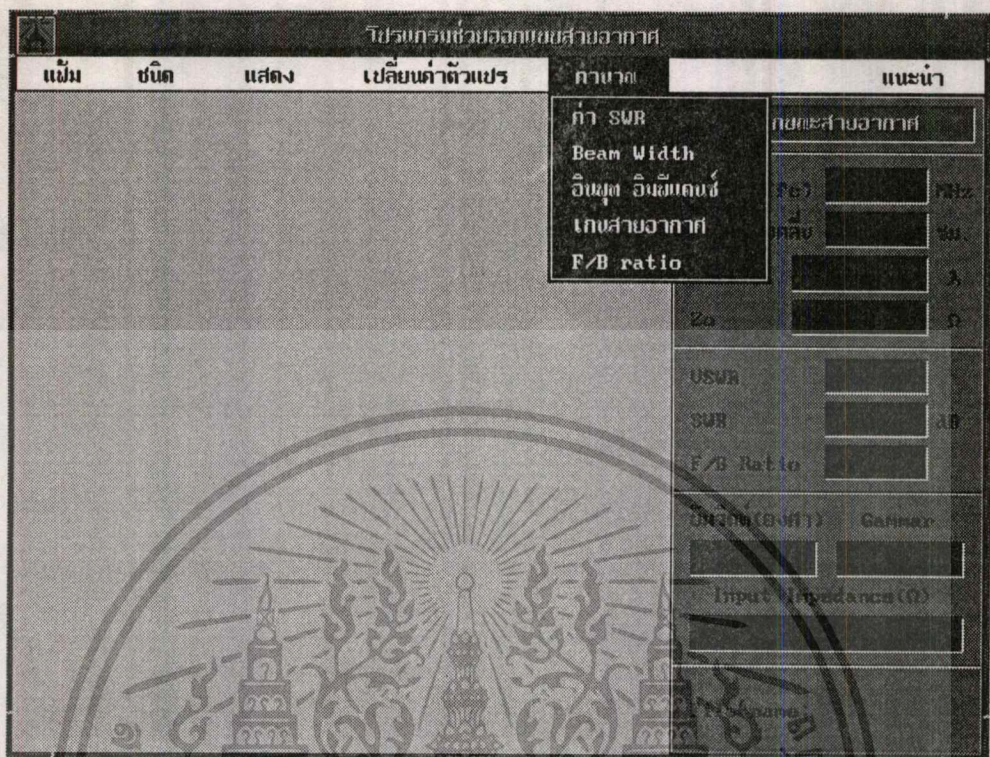
```
A:>HDAP [RETURN]
```

จากนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์จะประมวลผลโปรแกรมเข้าสู่หน่วยความจำและแสดงเมนูใช้
งานโปรแกรมออกมาพร้อมทั้งรายละเอียดของผู้พัฒนาโปรแกรม ดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงหน้าจอเมนูเบื้องต้นเมื่อเรียกใช้โปรแกรม

จะประกอบไปด้วยส่วนหลัก 3 ส่วน ได้แก่ส่วน pull-up pull-down menu , ส่วนแสดงคุณ
ลักษณะของสายอากาศ และส่วนแสดงผลทั่วไป จากนั้นกดคีย์ใดคีย์หนึ่งเพื่อเริ่มใช้งานต่อไป จะ
เห็นแถบสว่างสีน้ำเงินที่เมนูแฟ้ม กดปุ่ม Enter หรือ ↓ เพื่อดูรายการย่อยหรือใช้ปุ่ม ← หรือ →
เพื่อเลือกเมนูถัดไป

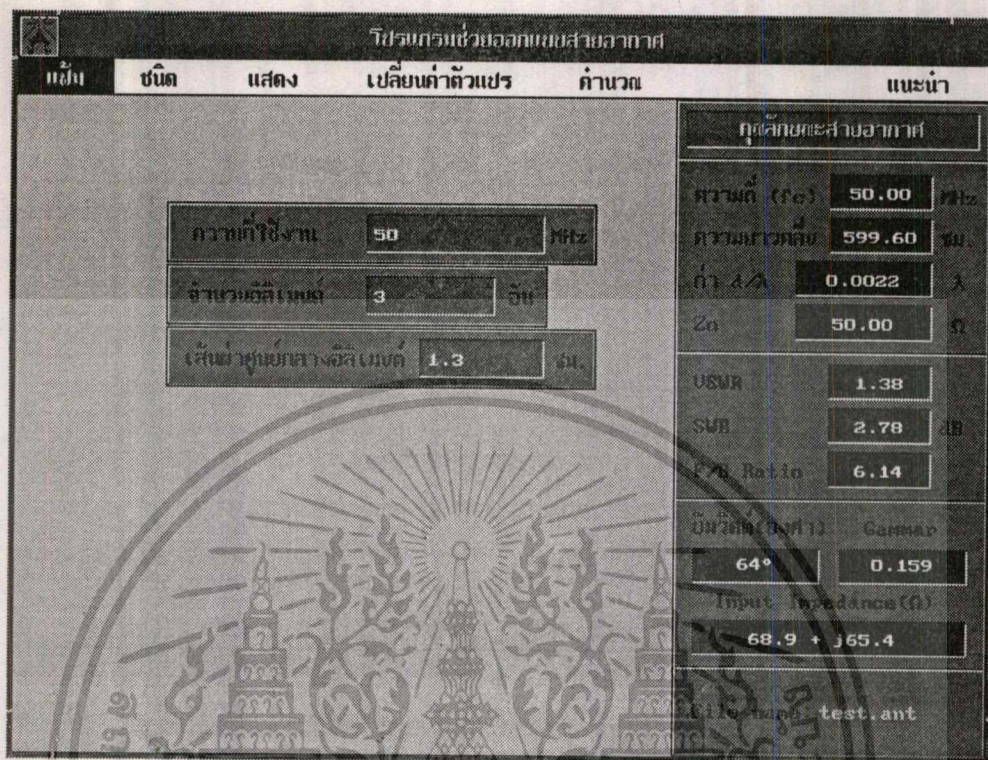


รูปที่ 4.8 แสดงเมนูคำนวณและเมนูย่อยในเมนูคำนวณ

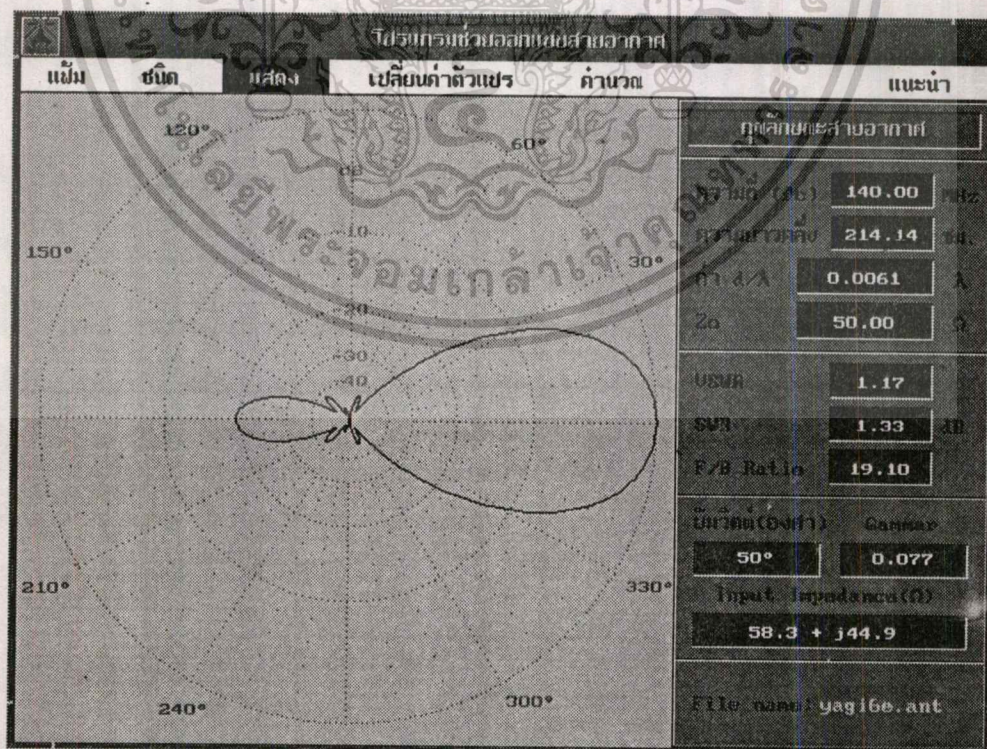
เมนูแนะนำ ประกอบด้วยเมนูย่อย 2 อันได้แก่

- ใช้หลักวิธีของ NBS เป็นเมนูย่อยเพื่อเลือกการออกแบบสายอากาศชนิดใดก็ได้ โดยใช้หลักวิธีของ NBS (National Bureau of Standards) ซึ่งเป็นสำนักงานมาตรฐานแห่งชาติอเมริกา
- เกี่ยวกับตัวโปรแกรม เป็นเมนูย่อยสำหรับแสดงรายชื่อผู้พัฒนาโปรแกรม

ดังที่ได้อธิบายการหน้าที่การทำงานในแต่ละเมนูแล้วการใช้โปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศจะต้องทำตามขั้นตอนดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.9 แสดงการป้อนข้อมูลและผลการคำนวณ



รูปที่ 4.10 แสดงการพล็อตแพทเทิร์น(Pattern) สายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดสอบโปรแกรม

5.1 บทนำ

การทดสอบโปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศนี้ทำได้ยากและต้องใช้เวลาานพอสมควร การทดสอบจึงกระทำได้เพียงเปรียบเทียบผลการใช้โปรแกรมกับทางทฤษฎีบางอันที่หาพอจะหาได้จากหนังสืออ้างอิง ส่วนการทดลองใช้สายอากาศจริง(ขากิ) ก็อาศัยผลการทดลองของวิทยานิพนธ์ในการอ้างอิงและเปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรมนี้

5.2 การทดสอบโปรแกรม

1. สายอากาศไดโพล

1.1 สายอากาศไดโพลสั้น (Short Dipole Antenna)

โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าความต้านทานของสายอากาศ 3 ค่า คือ ความต้านทานการแผ่คลื่น (Radiation resistance), ความต้านทานที่เกี่ยวกับการสูญเสีย(Ohmic resistance) และอินพุทริซิสแตนซ์(เฉพาะค่าจำนวนจริง)

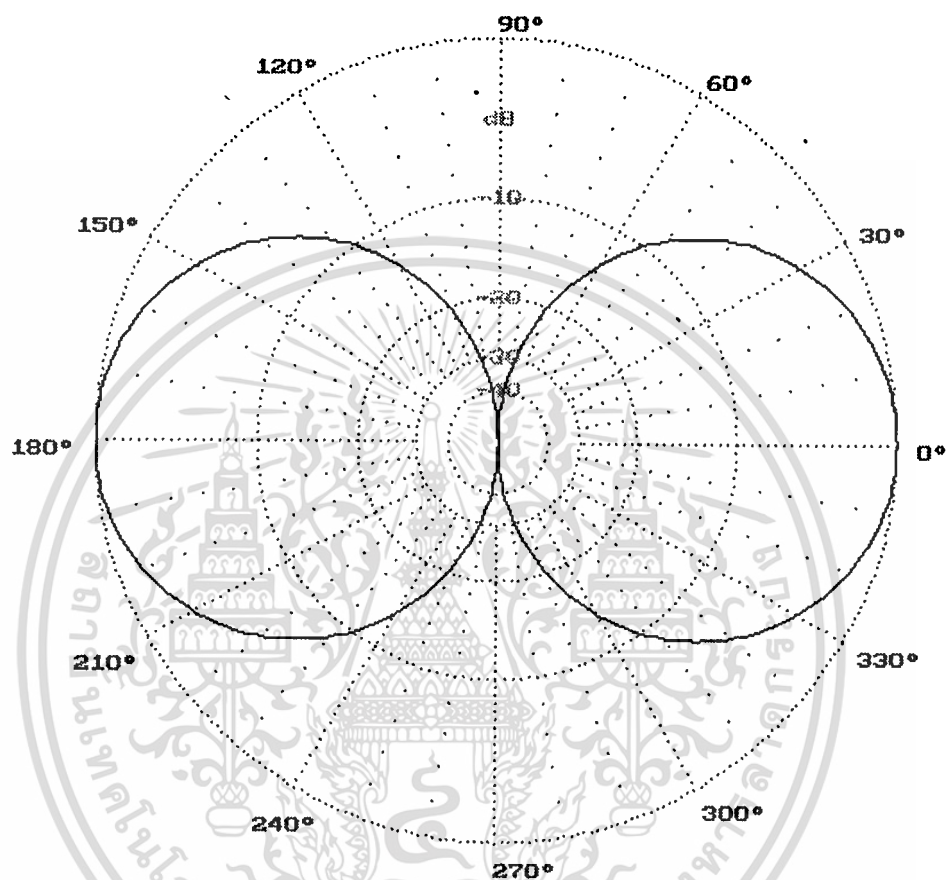
ถ้าให้สายอากาศมีความยาว 0.0033λ มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.00000406 ซม. และทำงานที่ความถี่ 1 MHz จาก[2] จะได้ค่า

ความต้านทานการแผ่คลื่น	= $0.0022 \ \Omega$
ความต้านทานการสูญเสีย	= $0.0344 \ \Omega$
อินพุทริซิสแตนซ์	= $0.0366 \ \Omega$

และจากการคำนวณโดยโปรแกรม จะได้

ความต้านทานการแผ่คลื่น	= $0.00215 \ \Omega$
ความต้านทานการสูญเสีย	= $0.03404 \ \Omega$
อินพุทริซิสแตนซ์	= $0.03619 \ \Omega$

สำหรับแพตเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศชนิดนี้ โปรแกรมจะทำการคำนวณเฉพาะ E-plane ซึ่งจะได้ผลดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงผลการคำนวณและพล็อตแพตเทิร์นการแผ่คลื่น E-plane ของไดโพลสั้น

1.3 สายอากาศไดโพลลวดตัวนำยาว (long Wire Dipole Antenna) โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ (ทั้งความต้านทานและรีแอคแตนซ์) ถ้าให้สายอากาศมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.001λ มีความยาว 0.5λ , 1λ และ 1.5λ ตามลำดับจาก [2] จะได้ว่า

$$\text{ที่ } L = 0.5\lambda ;$$

$$\text{ค่ารีซิสแตนซ์} = 73.0 \quad \Omega$$

$$\text{ค่ารีแอคแตนซ์} = +j42.5 \quad \Omega$$

$$\text{ซาร์ฟเฟาเวอร์บีมวิดท์} = 78^\circ$$

$$\text{ที่ } L = 1\lambda ;$$

$$\text{ซาร์ฟเฟาเวอร์บีมวิดท์} = 47^\circ$$

และจากการคำนวณโดยโปรแกรม จะได้ว่า

$$\text{ที่ } L = 0.5\lambda ;$$

$$\text{ค่ารีซิสแตนซ์} = 73.01 \quad \Omega$$

$$\text{ค่ารีแอคแตนซ์} = +j42.5 \quad \Omega$$

$$\text{ซาร์ฟเฟาเวอร์บีมวิดท์} = 78^\circ$$

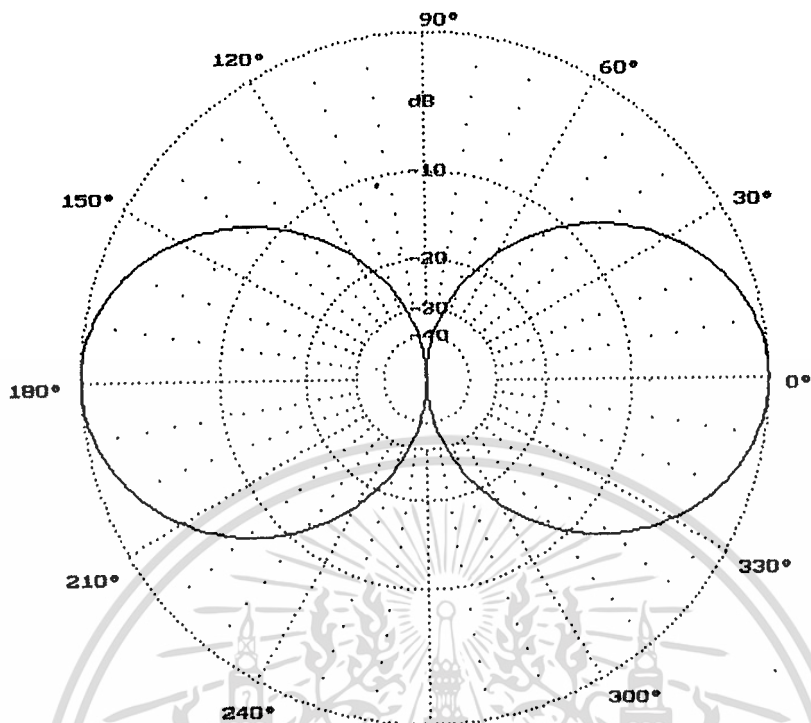
$$\text{ที่ } L = 1\lambda ;$$

$$\text{ซาร์ฟเฟาเวอร์บีมวิดท์} = 48^\circ$$

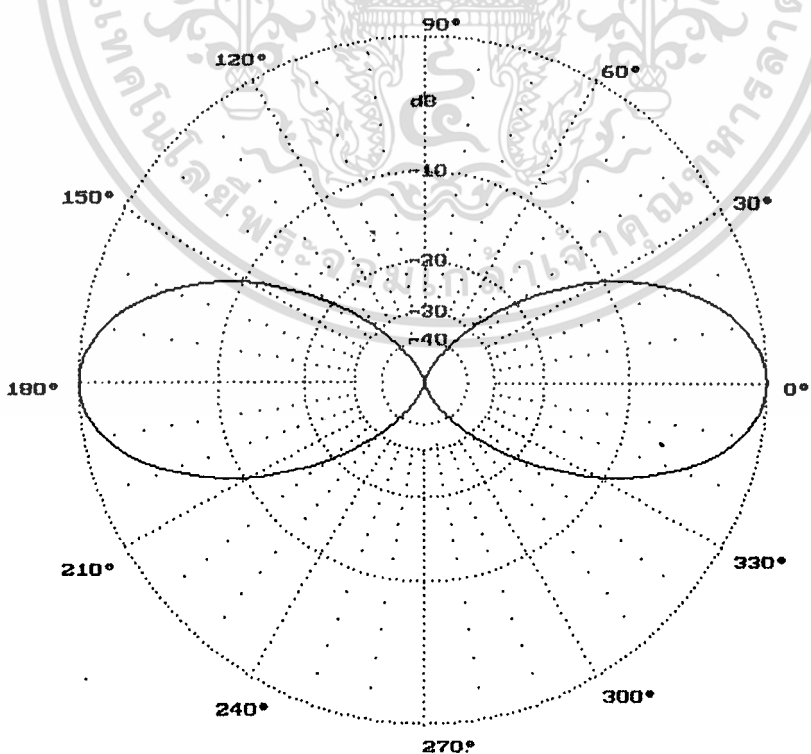
จะเห็นได้ว่าผลคำนวณ ผิดพลาดไปจากกราฟอินพุตอิมพีแดนซ์ใน [7] บ้าง ที่เป็นเช่นนี้ เพราะการคำนวณอินพุตอิมพีแดนซ์ใช้ Zeroth - order approximation ซึ่งให้ค่าประมาณอย่างหยาบ ๆ อีกประการหนึ่งการคำนวณในคอมพิวเตอร์มีการตัดค่า(Round off) และรู้ที่ในการอินทิเกรต(Integration routine) ใช้วิธีประมาณค่า ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จะมีการผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็นผลจากการคำนวณหาอินพุตอิมพีแดนซ์ โดยใช้โปรแกรมและข้อมูลอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลใน [2] ได้นำมาพล็อตเปรียบเทียบกันในรูปแบบของกราฟเทียบกับความยาว kl ในภาคผนวก

ในการคำนวณหาแพตเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศชนิดนี้ โปรแกรมจะทำการคำนวณเฉพาะ E-plane ซึ่งผลที่ได้จากโปรแกรม จะเป็นดังรูปที่ 5.2

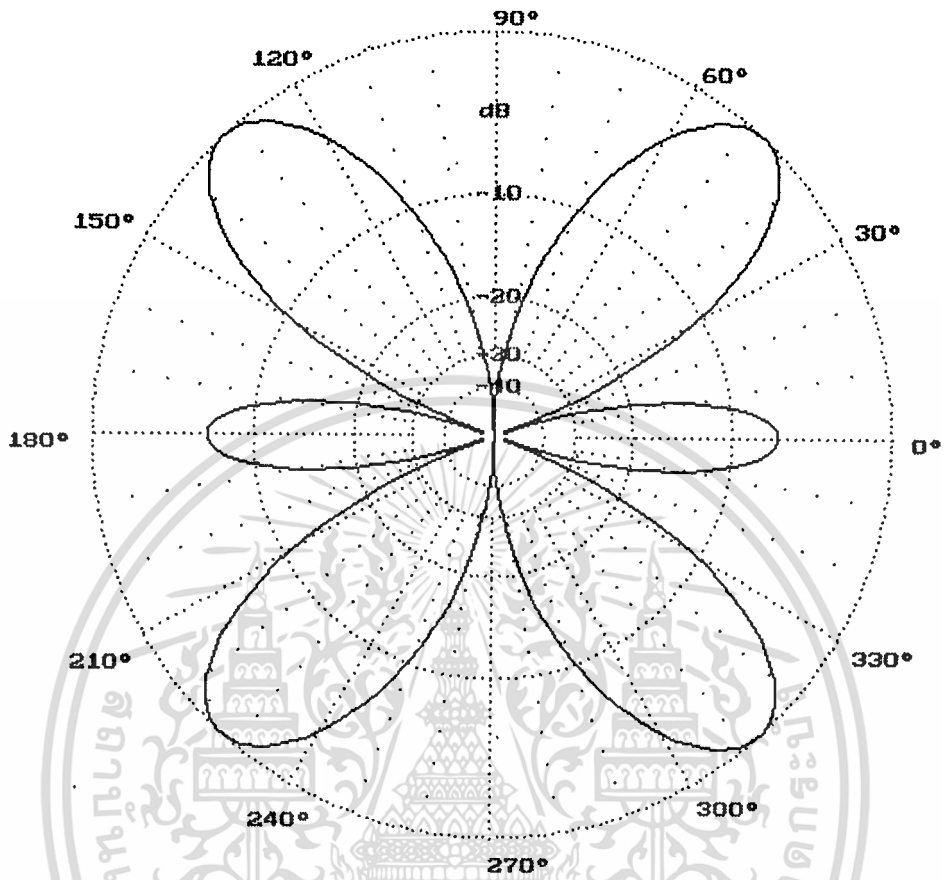
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก). $L = 0.5 \lambda$



(ข). $L = 1.0 \lambda$



รูปที่ 5.2 แสดงผลการคำนวณและพล็อตแพตเทิร์นการแผ่คลื่น E-plane ของ
สายอากาศไดโพลลดตัวนำยาว

(ก). ที่ $L = 0.5 \lambda$

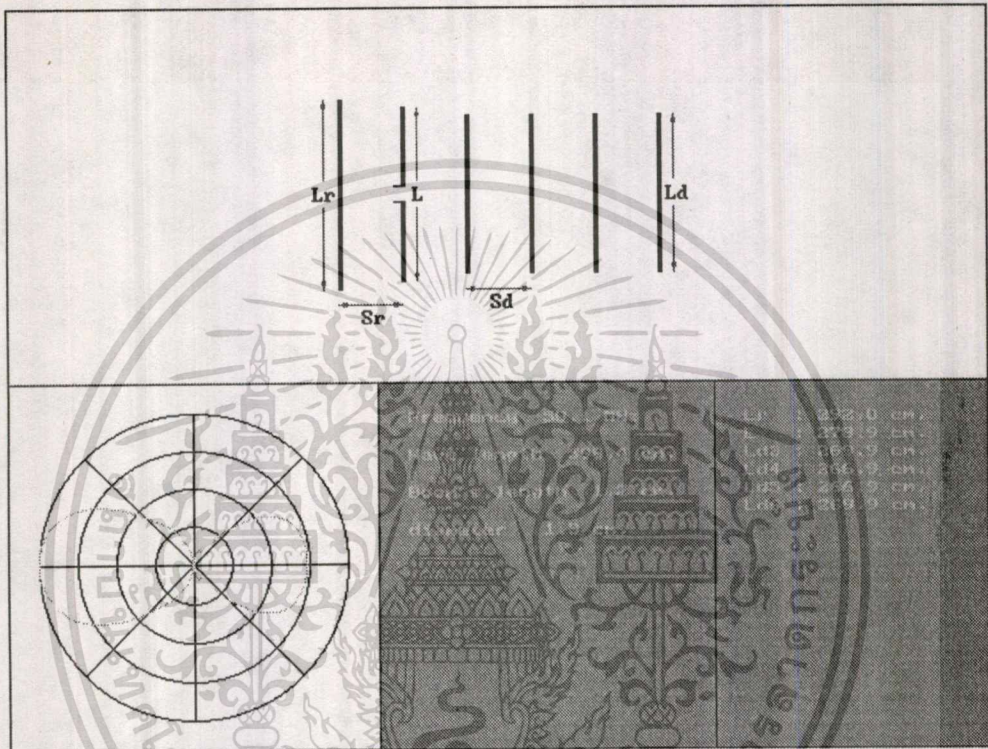
(ข). ที่ $L = 1.0 \lambda$

(ค). ที่ $L = 1.5 \lambda$

2. สายอากาศยาคี สำหรับสายอากาศชนิดนี้ โปรแกรมจะคำนวณหาอินพุตอิมพีแดนซ์ โดยอาศัย รูทีนเดียวกันกับไดโพลลดตัวนำยาว แต่จะต้องมี Mutual impedance เข้ามาเกี่ยวข้อง ด้วย การคำนวณหาค่า Mutual impedance จะทำแค่เฉพาะไดโพลซึ่งมีความยาว 0.4781λ และ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.001λ เราจะใช้วิธีฟิตเคอร์ฟ (Fit curve) เพื่อหาสมการของฟังก์ชัน สำหรับเส้นกราฟ Mutual impedance ที่มีอยู่ใน [2] กับกราฟในทางทฤษฎี [2] ได้แสดงเปรียบเทียบไว้ในภาคผนวก

ตัวอย่างการใช้โปรแกรมช่วยออกแบบ

สมมุติว่าต้องการออกแบบสายอากาศยักตามแบบของ NBS ให้ได้อัตราขยาย 10.2 dBd ที่มีความถี่กลาง 50.1 MHz โดยใช้อิลิเมนต์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3 ซม. ติดบนฉนวนเหนือบวมๆ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 38 มม.



รูปที่ 5.3 แสดงผลการออกแบบสายอากาศยัก 6 อี สำหรับความถี่ 50.1 MHz บนบวม 1.2 ๓ ทุกอิลิเมนต์ใช้ท่ออะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.3 ซม.

เราจะได้ความยาวจริงของแต่ละอิลิเมนต์เป็นดังนี้

$$\text{รีเฟลกเตอร์} = 0.488\lambda = 292.0 \text{ ซม.}$$

$$\text{ไดเรกเตอร์ 1} = 0.451\lambda = 269.8 \text{ ซม.}$$

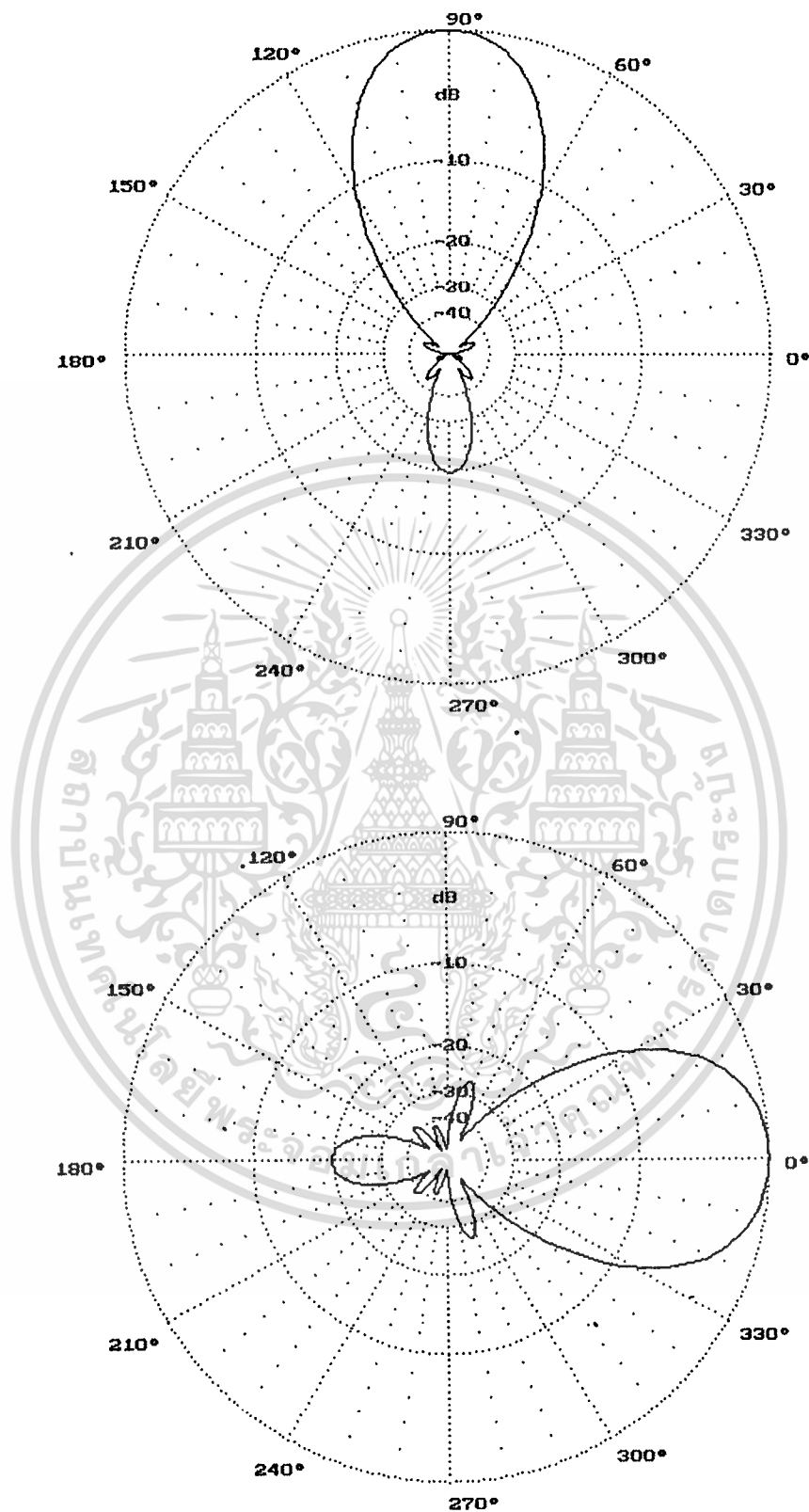
$$\text{ไดเรกเตอร์ 2} = 0.446\lambda = 266.8 \text{ ซม.}$$

$$\text{ไดเรกเตอร์ 3} = 0.446\lambda = 266.8 \text{ ซม.}$$

$$\text{ไดเรกเตอร์ 4} = 0.451\lambda = 269.8 \text{ ซม.}$$

ความยาวของครีเวนอิลิเมนต์โดยประมาณหาได้จาก

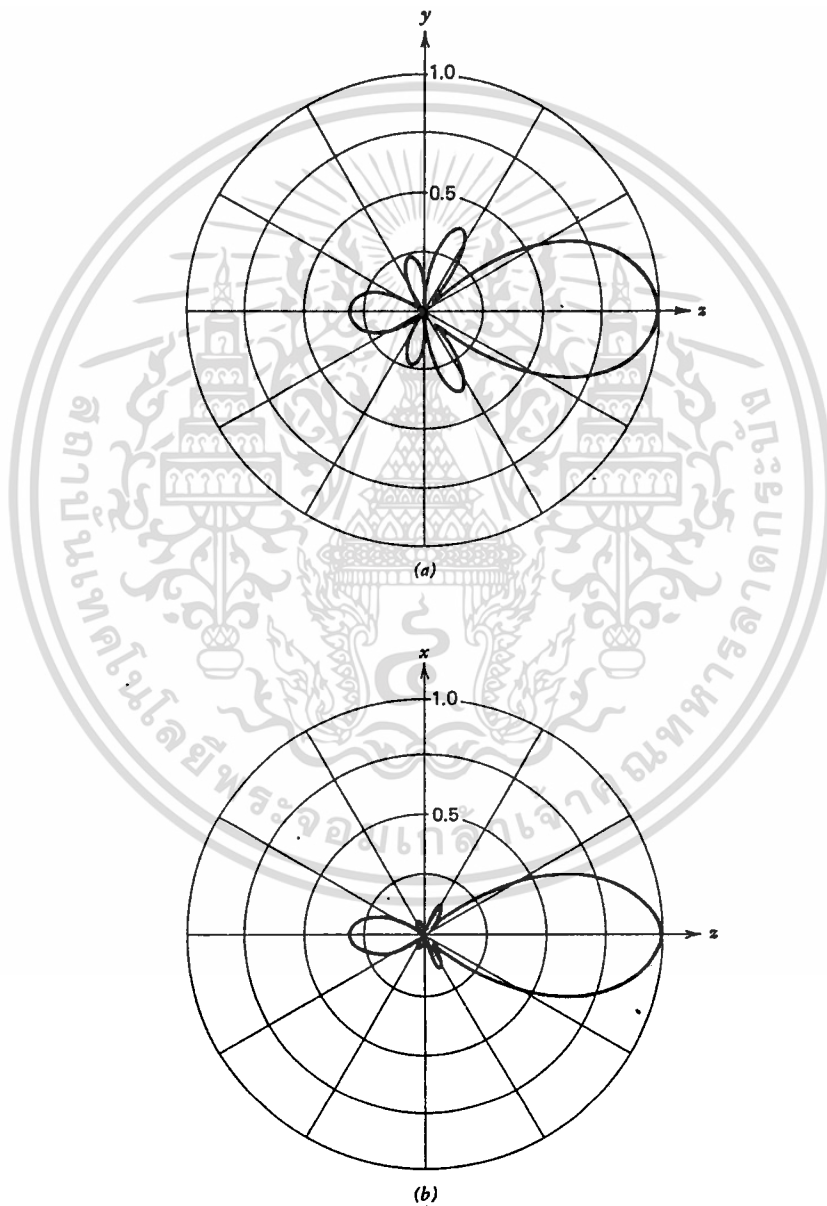
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงผลการคำนวณและพล็อตแพตเทิร์นการแผ่คลื่น E-plane และ H-plane

สายอากาศวิทยุไอโพลโดยโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แสดงแพตเทิร์นการแผ่คลื่น E-plane และ H-plane

สาขอากาศศึกษาเทคโนโลยีจาก [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ไคร์ฟเวอร์} = 0.466\lambda = 278.9 \text{ ซม.}$$

ผลลัพธ์ทั้งหมดแสดงในรูปที่ 5.3 ซึ่งใกล้เคียงกับตัวอย่างการออกแบบสายอากาศขาตามวิธีของ NBS จาก [1]

ตัวอย่างการคำนวณ

ถ้าให้สายอากาศขาที่มีโครงสร้างกำหนดด้วยพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

$$\text{จำนวนองค์ประกอบ(Element)} = 6$$

$$LR = 0.50\lambda$$

$$L = 0.47\lambda$$

$$LD = 0.43\lambda$$

$$SR = 0.25\lambda$$

$$SD = 0.30\lambda$$

$$\text{diameter of element} = 0.0052\lambda$$

ผลการคำนวณที่แสดงไว้ใน [2] ได้ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เป็น

$$\text{ค่ารีซิสแตนซ์} = 59.5 \ \Omega$$

$$\text{ค่ารีแอคแตนซ์} = 47.5 \ \Omega$$

และที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม มีค่าเท่ากับ

$$\text{ค่ารีซิสแตนซ์} = 58.73 \ \Omega$$

$$\text{ค่ารีแอคแตนซ์} = 46.65 \ \Omega$$

ซึ่งจะเห็นว่าแตกต่างจากผลการคำนวณใน [2] พอสมควร ทั้งนี้เป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของไดโพลในแต่ละองค์ประกอบ(Self Impedance) และค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างองค์ประกอบ(Mutual impedance)

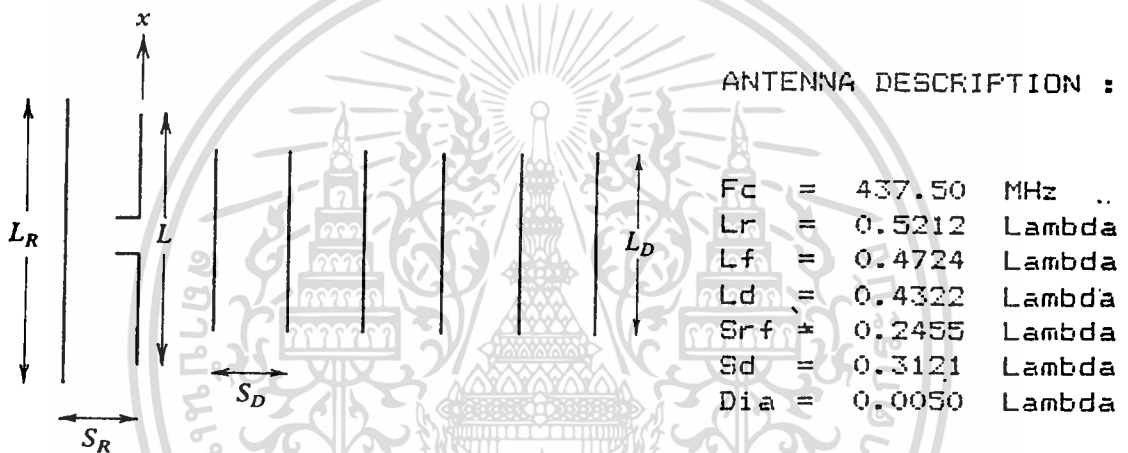
สำหรับแพตเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศชนิดนี้ โปรแกรมจะทำการคำนวณทั้งใน E-plane และ H-plane ซึ่งผลที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 5.4 และเมื่อเปรียบเทียบกับแพตเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศเดียวกันดังรูปที่ 5.5 ซึ่งได้จาก [2] แล้ว จะเห็นว่ายังมีข้อแตกต่างกันอยู่บ้าง

5.3 การทดสอบสายอากาศวิทยากิจจริงกับการใช้โปรแกรม

เนื่องจากเวลาค่อนข้างจะจำกัด การสร้างสายอากาศเพื่อนำมาทดลองเปรียบเทียบกับผลจากการคำนวณด้วยซอฟต์แวร์ไม่สามารถทำได้ จึงได้นำผลการทดลองจากวิทยานิพนธ์ของปริญญาโทที่เลือกทดลองกับสายอากาศวิทยากิจ ที่ใช้กับเครื่องส่งวิทยุ TZ 403

5.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในการทดลองก็คือตัวสายอากาศ สายอากาศวิทยากิจที่ใช้ในการทดลองมีขนาด(Dimension) ดังรูปที่ 5.6



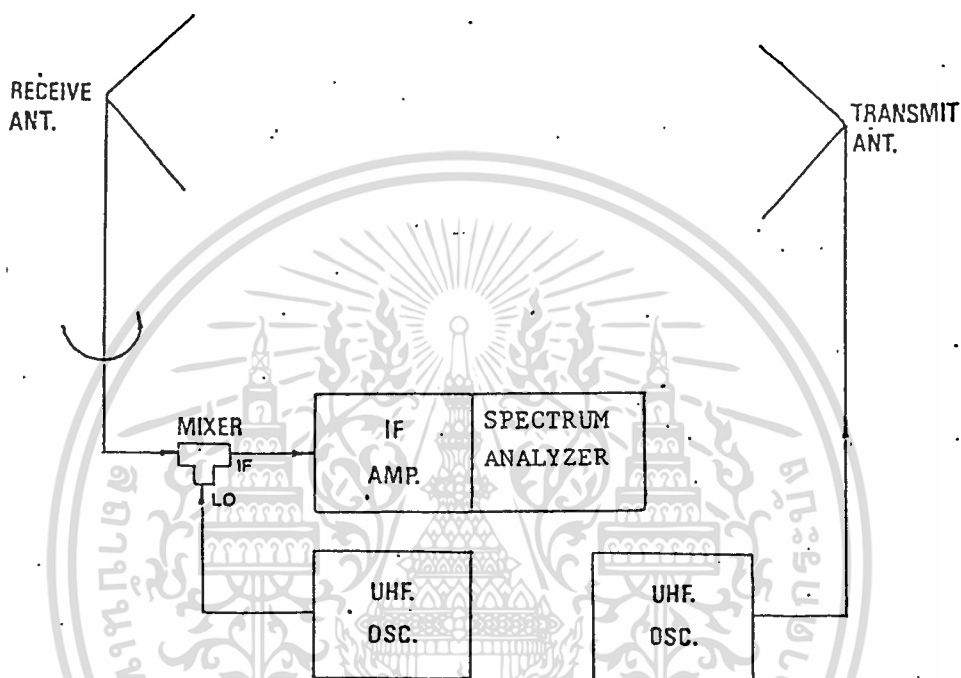
รูปที่ 5.6 แสดงสายอากาศวิทยากิจที่ใช้ในการทดลอง

สายอากาศแบบยาคิที่ใช้ในการทดลองมีช่วงความถี่ใช้งานอยู่ที่ 410-465 MHz และความถี่กลาง(Resonant frequency) ของไดโพลตัวนั้นอยู่ประมาณ 437.5 Mhz

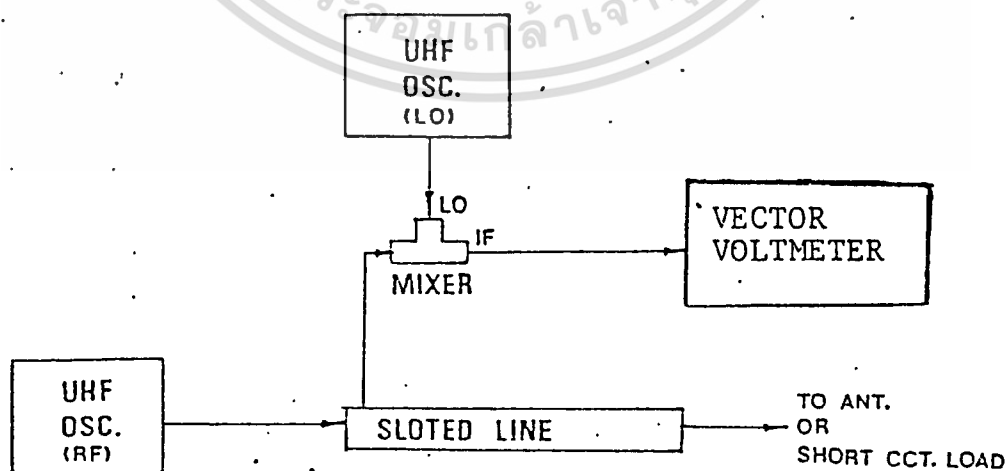
ชุดอุปกรณ์สำหรับวัดแอมพลิจูดการแผ่คลื่น ประกอบด้วยอุปกรณ์ชุดส่งและชุดรับคลื่น ดังรูปที่ 5.7

เสาอากาศของสายอากาศตัวรับจะต้องหมุนได้รอบทิศ เพื่อให้สามารถวัดความแรงของคลื่นในทิศทางต่างๆได้

ชุดอุปกรณ์สำหรับอิมพัลติมิตีแคนซ์ของสายอากาศ ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.7 แสดงแผนภาพของอุปกรณ์วัดแพดเทิร์นการแผ่คลื่นของสายอากาศ



รูปที่ 5.8 แสดงแผนภาพของอุปกรณ์สำหรับวัดอินพีแดนซ์ของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทดลอง

เพื่อให้สภาพแวดล้อมมีผลต่อการทดลองน้อยที่สุด ดังนั้นสถานที่ทดลองจะต้องไม่มีวัตถุอยู่ใกล้เคียงกับสายอากาศที่จะทำการวัด เพราะการสะท้อนของคลื่นจากวัตถุทำให้แพทเทินการแผ่คลื่นที่วัดไปได้มีรูปร่างผิดไป ดังนั้นในการทดลองเราจึงเลือกทำการทดลองที่ลานช้างตึกสถานีวิทยุสื่อสารขอนแก่น และได้ทำในเวลากลางวันเนื่องจากเป็นเวลาที่ปลอดจากยานพาหนะและคนสัญจรไปมา รายละเอียดของการทดลองเป็นดังนี้

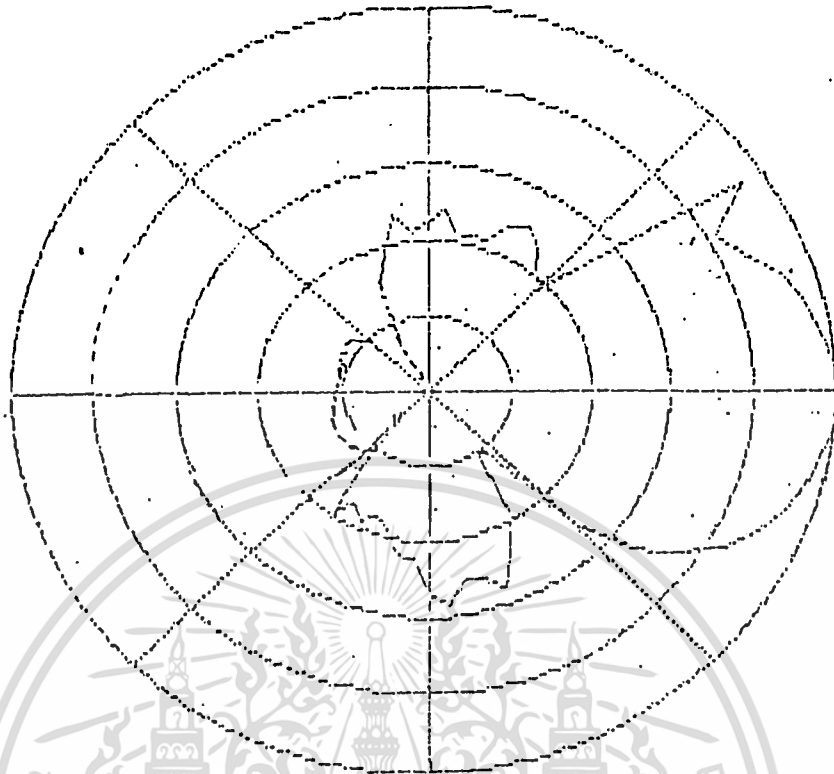
(ก) การวัดแพทเทินการแผ่คลื่นเริ่มจากตั้งเครื่องมือดังรูปที่ 5.7 จากนั้นปรับ UHF Oscillator ตัวส่งให้ได้ความถี่ที่ต้องการ การวัดความถี่กระทำโดยใช้ UHF Oscillator ตัวรับให้มีความถี่ที่แตกต่างกัน 30 MHz เพื่อให้ได้กำลังสูงสุด ซึ่งสังเกตได้จากค่าที่อ่านได้บนไอเอฟแอมพลิไฟเออร์ แต่จะต้องจำกัดกระแส믹เซอร์(Mixer current) ให้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1 มิลลิแอมป์ ในการทดลองเราหมุนสายอากาศจาก 0 ถึง 360 และบันทึกค่ากำลังของคลื่นที่อ่านได้จากไอเอฟแอมพลิไฟเออร์ Spectrum Analyzer

สำหรับความถี่ที่ใช้ในการทดลองได้เลือกค่าต่าง ๆ กัน 5 ความถี่ คือ 410.25, 425, 437.5, 445 และ 465 MHz

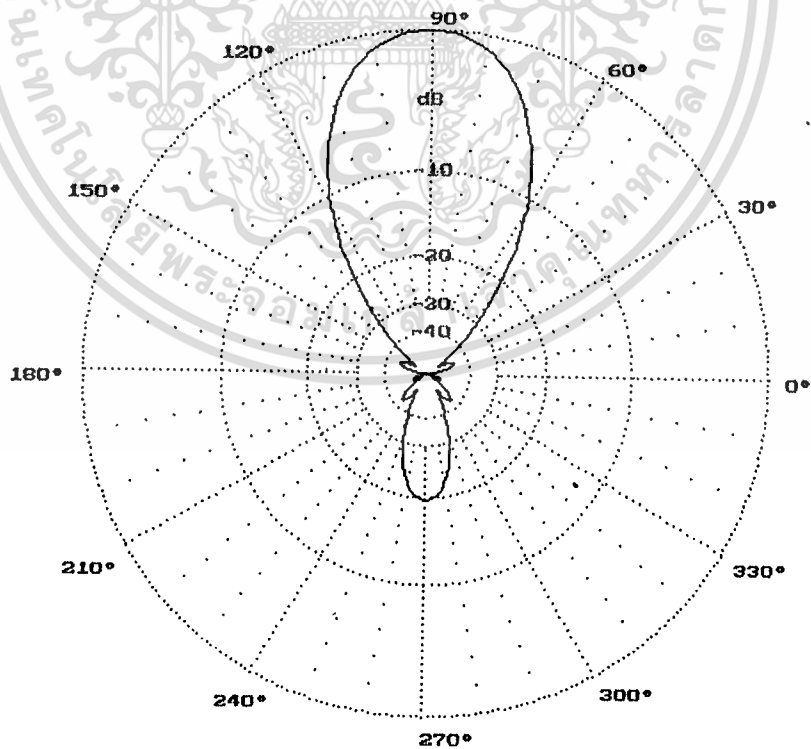
(ข) การวัดอินพุตอิมพีแดนซ์ตั้งเครื่องมือดังรูปที่ 5.8 ปรับ UHF Oscillator ตัวส่ง (RF) ให้ได้ความถี่ที่ต้องการ และปรับ UHF Oscillator (LO) ให้มีความถี่แตกต่างกัน 30 MHz จำกัดกระแส믹เซอร์ให้อยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1 มิลลิแอมป์ ในการทดลองเราวัด VSWR ที่เกิดขึ้นในสล็อตเคเบิลเมื่อโหลดที่ปลายสายเป็นสายอากาศ และ Short circuit ตามลำดับโดยอ่านค่าที่หน้าปัดของ VECTOR VOLT METER และตำแหน่งแรกจากปลายสายที่เกิดแรงดันต่ำสุด

ผลการทดลอง

จากทดลองวัดแพทเทินการแผ่คลื่นของสายอากาศขาคี แล้วนำข้อมูลที่ได้อ่านไปพล็อตเป็นกราฟเชิงมุม จะได้แพทเทินการแผ่คลื่นดังรูปที่ 5.9 โดยแสดงเป็นโพลาร์พล็อตของใน E -plane โดยข้อมูลที่นำมาพล็อตมีหน่วยเป็น dB



รูปที่ 5.9 แสดงแพตเทิร์นการแผ่คลื่นใน E -plane ของสายอากาศยักที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 4.6 แสดงแพตเทิร์นการแผ่คลื่นใน E -plane ของสายอากาศยักที่ได้จากการทดลองและ
การคำนวณโดยโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดลองวัดหาอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศ ได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.1
 ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลจากการทดลองวัดอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่มีความถี่ต่างๆ

Frequency (MHz)	Short cct. load		Antenna		d _m (cm.)
	Vmax(dB)	Vmin(dB)	Vmax(dB)	Vmin(dB)	
410.25	12.6	0.5	7.9	0.0	-8.0
425.00	23.6	9.0	17.9	9.2	-15.6
437.50	19.4	11.7	14.8	9.7	-11.6
445.00	22.6	12.6	17.2	14.9	-1.2
465.00	18.4	8.0	12.8	3.6	-17.0

เมื่อ d_m คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่เกิด Vmin เมื่อโหลดเป็นสายอากาศกับตำแหน่ง ที่เกิด Vmin เมื่อโหลดเป็น Short circuit โดยใช้ค่าหลังเป็นตำแหน่งอ้างอิง
 นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาอิมพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศโดยใช้สูตร

$$Z_{in} = Z_o (1-j S \tan \beta d_m) / (S - j \tan \beta d_m) \tag{4.1}$$

เมื่อ Z_o คือ อิมพีแดนซ์ลักษณะของสล็อตเต็คไลน์ = 50 โอห์ม
 S คือ ค่า VSWR ที่แท้จริงซึ่งหาได้จาก [13]

$$S = (S_m - 1/S_L) / (1 - S_m/S_L) \tag{4.2}$$

เมื่อ S_m คือ ค่า VSWR เมื่อโหลดเป็นสายอากาศ
 S_L คือ ค่า VSWR เมื่อโหลดเป็น short circuit

ตัวอย่างการคำนวณ

ที่ความถี่ 437.5 MHz เราได้

$$S_L = 19.4 - 11.7 = 7.7 \text{ dB หรือ } 5.89$$

$$S_m = 17.8 - 9.7 = 8.1 \text{ dB หรือ } 2.236$$

$$d_m = -11.8 \text{ ซม.}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$S = (2.236 - 1/5.89)/(1 - 2.236/5.89) = 3.33$$

เนื่องจาก dm ที่ใช้ในการคำนวณ จะต้องอยู่ในหน่วยความยาวคลื่นที่ความถี่ 437.5 MHz ความยาวคลื่นมีค่าเท่ากับ 68.57 ซม.

ดังนั้น $dm = -11.6 \text{ A}$

ใช้ (4.1) หาค่า Z_m จะได้ผลเป็น

$$Z_m = 50(1 - j3.33 \tan 2\pi/\lambda * (-0.169\lambda)) / (3.33 - j \tan 2\pi/\lambda * (-0.169\lambda))$$

$$= 48.96 - j63.125 \text{ โอห์ม}$$

ค่าอิมพิแดนซ์ที่แกนของสายอากาศที่คำนวณได้จากผลการทดลอง และจากโปรแกรมได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบค่าอิมพิแดนซ์ที่แกนของสายอากาศที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ โปรแกรม

Frequency (MHz)	Input Impedance (Ohms)	
	Experiment	Program
465.00	58.54 + j52.503	58.2 + j43.7

บทสรุปและวิจารณ์

ปริญญานิพนธ์นี้กล่าวถึงการประยุกต์และพัฒนาซอฟต์แวร์ เพื่อช่วยลดขั้นตอนในการออกแบบ, คำนวณและแสดงผลคุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศ โดยเริ่มต้นตั้งแต่การศึกษาทฤษฎี, การวิเคราะห์คุณสมบัติของสายอากาศชนิดต่างๆ โดยเฉพาะสายอากาศที่สามารถสร้างขึ้นได้ง่าย และเป็นที่ยอมรับใช้กันโดยทั่วไป ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรมเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ ซึ่งขั้นตอนในการพัฒนาค่อนข้างจะยุ่งยากเนื่องจากสาเหตุหลายๆ ประการ เช่น ข้อมูลทางทฤษฎีและการออกแบบสายอากาศบางชนิดมีข้อมูลจำกัดและหายากมาก และการวิเคราะห์คำนวณคุณสมบัติพื้นฐานของสายอากาศบางชนิดมีความยุ่งยาก อีกทั้งไม่มีความแน่นอน การคำนวณค่าอินพุตที่มีแนวโน้มใช้ลักษณะการประมาณค่า(Approximate) ทำให้ค่าที่ได้ผิดพลาดไปพอสมควร — ในส่วนของการออกแบบสายอากาศยาได้ใช้วิธีของ NBS ซึ่งเป็นสำนักงานมาตรฐานแห่งชาติของอเมริกาได้พัฒนาขึ้นมาช่วยลดความยุ่งยากในการออกแบบได้อีกทางหนึ่ง และเนื่องจากสายอากาศยาเป็นสายอากาศที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนยุ่งยากอีกทั้งยังเป็นที่ยอมรับใช้กันทั่วไป สามารถทำการทดลองหาคุณสมบัติพื้นฐานของมันได้ไม่ยาก เพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลได้จากการคำนวณโดยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้เอกสารอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์ของปริญญโท ผลที่ได้เชื่อได้พอควร

แนวทางในการพัฒนา

สำหรับผู้สนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับปริญญานิพนธ์นี้ก่อน ควรจะศึกษาหาวิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติพื้นฐานที่ละเอียดและถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น, การแมตช์(Matching) สายอากาศ รวมทั้งพัฒนาซอฟต์แวร์ให้สามารถช่วยออกแบบสายอากาศชนิดอื่นๆ ที่มีโครงสร้างและการทำงานที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lawson, J., L. *Yagi Antenna Design*. The American radio relay league , 1986.
- [2] Stutzman, W., L. and Thiele, G., A. *Antenna Theory and Dsign*. New York: John Wiley , 1981.
- [3] Carr, J., J. *Scientific and Engineering Programs for the IBM-PC and PC-XT*. Virginia: Prentice-Hall, 1985
- [4] Conner, F., R. *Antennas*. London : Edwad Arnold(publishers) , 1984
- [5] Orr, W., I. and Cowan, S., D. , *Beam Antenna Handbook* . New Jersey: Radio Amateur Callbook.
- [6] Rajeswari Chatterjee. *Antenna Theory and Practice*. New Delhi: Wiley Eastern limited, 1988.
- [7] Elliot, R., S. *Antenna Theory and Design*. Englewood Cliffs, NJ. : Prentice-Hall, 1981.
- [8] Jasik, H. *Antenna Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1984.
- [9] Kraus, J., D. *Antennas*. New York: McGraw-Hill, Feb 1950.
- [10] บัณฑิต โรงโอรยานนท์ . *วิศวกรรมสายอากาศ (Antenna Engineering)*. : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- [11] โมไนย ไกรฤกษ์ , ทฤษฎีสายอากาศ (Antenna Theory) ศ.จ.ถ. :
พจก.สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
- [12] รองศาสตราจารย์ มณฑนา ปราการสมุทร, การเขียนชุดคำสั่งภาษาซี .
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : บริษัทดวงกมลสมัย จำกัด, พ.ศ. 2534.
- [13] มนตรี พจนรตลาวัณย์, การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาซี .
บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, พ.ศ. 2521





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*****/

/*      program   : Antennas Aided Design  Program      */
/*      design by : Mr.Chitsak pinrajampai  and Mr.Monsan pipatponglert  */
/*      King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang      */
/*      file's name : antcad.h      */
/*      Borland Turbo C V2.00      */
/*****/

#include <graphics.h>
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <conio.h>
#include <alloc.h>
#include <string.h>
#include <dos.h>
#include <bios.h>
#include <ctype.h>
#include <process.h>
#include <dir.h>

#define ON      1
#define OFF     0
#define NORMAL  0
#define INVERSE 1
#define Bwide   30
#define Blong   80
#define NUMLIST 12
#define LONGLIST 3
#define CV      29980 /* velocity constant */

#define RIGHT    0x4d00
#define LEFT     0x4b00
#define UP       0x4800

```

```
#define DOWN      0x5000
#define PgUP      0x4900
#define PgDW      0x5100
#define HOME      0x4700
#define END       0x4f00
#define ESC       0x011b
#define BACKSPACE 0x0e08
#define RETURN    0x1c0d
#define SPACE     0x3920
#define MOUSE     0x2b1c
```

```
#define ALT_X      0x2d00
```

```
/******
```

```
typedef struct menu_status
```

```
{
    int window;
    int choice;
    int menu;
    int key;
};
```

```
typedef struct head
```

```
{
    char *choice;          /* data structure of choice heading */
};
```

```

/*****
/*      program   : Antennas Aided Design Program      */
/*      design by : Mr.Chitsak pinrajampai  and Mr.Monsan pipatpongler  */
/*      King Mongkut Institue of Technology Ladkrabang      */
/*      file's name :   main.c      */
/*      Borland Turbo C V2.00      */
*****/

#include "antcad.h"

#define MAX_MENU    5      /* amount of menu      */
#define MAX_ITEM    7      /* amount highest of items */
#define pCenter 85      /* default position      */

typedef struct MENU
{
    int row[MAX_ITEM];      /* define x */
    int area[4];      /* define area each menu */
    int last_item;      /* last item of each menu of select */
    int mem_status;      /* status of area allocation */
    void far *mem_window;      /* allocate area each menu */
    struct head item[MAX_ITEM];      /* index of item */
};

struct ANTENNA{
    float frequency;
    int elem;
    float dia_e;
    float lenght[18];
    float dist[18];
}ant;

void far *OldImage;
char fbuf[500][13],wfname[15];

```

```

struct MENU MUG[MAX_MENU+1];
int end_item[MAX_MENU+1]={5, 3, 4, 3, 5, 2}; /* end item each menu */
int sta_main[MAX_MENU+1]={5,65,135,210,350,535};
int len_main[MAX_MENU+1]={60,60,68,135,78,99};
int type_ant=1,nelem=0,tp=1,NBS=1;
/* design0 analy1 pattern2 show_var3 put_val4 save5 load6 */
int stsWork[]={ 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0 };
float freq,dm;
extern int  calc_BeamWidth();
extern float Zo,Zin,zii,llo,x[],y[],dd[];
extern float calc_SWR(),calc_F2B();

/*****
int Shell();
void Select_Menu(int menu);
void design(void);
void AssignMenu(void);
void Display_Main_Menu(void);
void Display_Menu(int menu);
void Readfont(void);
void Inverse_menu(int menu);
void Normal_menu(int menu);
void ShowTitleMenu(int menu,int inverse);
void Show_item(int menu,int no,int inverse);
void SaveImage(int menu);
void LoadImage(int menu,int s);
void Exec_Func(int menu_N,int item_N);
void KMIT(void);
void About(void);
void Outthai(int column,int row,char *contents);
void Outtxt(char str[]);
struct menu_status Clik_head(struct menu_status M,int mpx);
struct menu_status Check_row(struct menu_status M,int mpy);

```

```
/****** Main Program *****/
```

```
main()
```

```
{ int gd=DETECT,gm,i;
```

```
registerbgidriver(EGAVGA_driver);
```

```
initgraph(&gd,&gm,"");
```

```
mouse_reset();
```

```
Readfont();
```

```
AssignMenu(); /* initial menu */
```

```
Display_Main_Menu();
```

```
About();
```

```
show_mouse();
```

```
Select_Menu(0);
```

```
Exec_Func(0,5);
```

```
exit(0);
```

```
}
```

```
/******
```

```
void AssignMenu(void)
```

```
{ int rowwidth=23,i;
```

```
int rowgap=16,j;
```

```
int hgap=13;
```

```
unsigned size;
```

```
/* assign area each menu's number */
```

```
MUG[0].area[0] = 1; MUG[0].area[1] = 53;
```

```
MUG[0].area[2] = 150; MUG[0].area[3] = 173;
```

```
MUG[1].area[0] = 65; MUG[1].area[1] = 53;
```

```
MUG[1].area[2] = 275; MUG[1].area[3] = 128;
```

```
MUG[2].area[0] = 135; MUG[2].area[1] = 53;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MUG[2].area[2] = 300;  MUG[2].area[3] = 155;
```

```
MUG[3].area[0] = 210;  MUG[3].area[1] = 53;  
MUG[3].area[2] = 405;  MUG[3].area[3] = 128;
```

```
MUG[4].area[0] = 350;  MUG[4].area[1] = 53;  
MUG[4].area[2] = 495;  MUG[4].area[3] = 173;
```

```
MUG[5].area[0] = 480;  MUG[5].area[1] = 53;  
MUG[5].area[2] = 635;  MUG[5].area[3] = 110;
```

```
for(j=0; j<=MAX_MENU; j++)  
{  
    MUG[j].row[0] = rowwidth+hgap;  
    MUG[j].last_item = 1;  
    size=imagesize(MUG[j].area[0], MUG[j].area[1],  
                   MUG[j].area[2], MUG[j].area[3]);  
    if((MUG[j].mem_window=farmalloc(size))!=NULL)  MUG[j].mem_status=0;  
    else  MUG[j].mem_status=2;  
    for(i=1; i<MAX_ITEM; i++)  MUG[j].row[i] = (i+1)*rowwidth+rowgap;  
}
```

```
/****** set menu1(file) item *****/
```

```
MUG[0].item[0].choice = "เพิ่ม";
```

```
MUG[0].item[1].choice = "สร้างใหม่";
```

```
MUG[0].item[2].choice = "เปิดข้อมูลเก่า";
```

```
MUG[0].item[3].choice = "จัดเก็บข้อมูลลงดิสก์";
```

```
MUG[0].item[4].choice = "ไป DOS ชั่วคราว";
```

```
MUG[0].item[5].choice = "ออกจากโปรแกรม";
```

```
/****** set menu2(edit) item *****/
```

```
MUG[1].item[0].choice = "ชนิด";
```

```
MUG[1].item[1].choice = "สาขาอากาศาภิ";
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MUG[1].item[2].choice = " สายอากาศไดโพลขนาดเล็ก";
MUG[1].item[3].choice = " สายอากาศไดโพลลดตัวนำยาว";
```

```
/****** set menu3(color) item *****/
```

```
MUG[2].item[0].choice = "แสดง";
```

```
MUG[2].item[1].choice = " แสดงค่าตัวแปร";
```

```
MUG[2].item[2].choice = " แสดง Pattern";
```

```
MUG[2].item[3].choice = " แสดงรายละเอียด";
```

```
MUG[2].item[4].choice = " จำลองภาพสายอากาศ";
```

```
/****** set menu4(Show variable) item *****/
```

```
MUG[3].item[0].choice = "เปลี่ยนค่าตัวแปร";
```

```
MUG[3].item[1].choice = " ค่าความถี่ใช้งาน";
```

```
MUG[3].item[2].choice = " เส้นผ่าศูนย์กลางตัวนำ";
```

```
MUG[3].item[3].choice = " ความยาวอิลิเมนต์";
```

```
/****** set menu5(Calc) item *****/
```

```
MUG[4].item[0].choice = "คำนวณ";
```

```
MUG[4].item[1].choice = " ค่า SWR";
```

```
MUG[4].item[2].choice = " Beam Width";
```

```
MUG[4].item[3].choice = " อินพุทอิมพีแดนซ์";
```

```
MUG[4].item[4].choice = " เกนสายอากาศ";
```

```
MUG[4].item[5].choice = " F/B ratio";
```

```
/****** set menu6(Help) item *****/
```

```
MUG[5].item[0].choice = " แนะนำ";
```

```
MUG[5].item[1].choice = " _ใช้วิธีการของ NBS";
```

```
MUG[5].item[2].choice = " เกี่ยวกับตัวโปรแกรม";
```

```
}
```

```
/******
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void Display_Menu(int menu)
{
    int i;

    setcolor(WHITE);
    setfillstyle(1,LIGHTBLUE);
    bar(MUG[menu].area[0],MUG[menu].area[1],
        MUG[menu].area[2],MUG[menu].area[3]);
    rectangle(MUG[menu].area[0]+2,MUG[menu].area[1]+2,
        MUG[menu].area[2]-2,MUG[menu].area[3]-2);

    for(i=1;i<=end_item[menu];i++)
        Outthai(MUG[menu].area[0],MUG[menu].row[i],MUG[menu].item[i].choice);
}

/*****
void Display_Main_Menu(void)
{
    int count,i;
    char word[MAXPATH],fname[15];

    clearviewport();
    _window(0,0,getmaxx(),getmaxy(),6,1);
    inform_box();
    setfillstyle(1,CYAN);
    bar(4,4,634,28);
    setcolor(BLACK);
    setfillstyle(1,WHITE);
    bar3d(4,29,635,52,0,0);

    for(count=0;count<=MAX_MENU;count++)
        Outthai(sta_main[count]+18,MUG[count].row[0],MUG[count].item[0].choice);
    button(3,2,31,30,7,1,"",2);
    KMIT();
}

*****/

```

```

void Show_item(int menu,int no,int inverse)
{ int mpx,mpy;

mouse_position(&mpx,&mpy);
if(mpx>MUG[menu].area[0] && mpx<MUG[menu].area[2]
    && mpy>MUG[menu].row[no]-23 && mpy<MUG[menu].row[no]+10) hide_mouse();

if(inverse){ setcolor(YELLOW); setfillstyle(1,RED);    }
    else { setcolor(WHITE); setfillstyle(1,LIGHTBLUE); }
bar(MUG[menu].area[0]+5,MUG[menu].row[no]-3,
    MUG[menu].area[2]-5,MUG[menu].row[no]+13);
Outthai(MUG[menu].area[0],MUG[menu].row[no],MUG[menu].item[no].choice);
show_mouse();
}
/*****
void ShowTitleMenu(int menu,int inverse)
{ int x1,x2;
    int mpx,mpy;

    if(inverse){ setcolor(YELLOW); setfillstyle(1,LIGHTBLUE); }
    else { setcolor(BLACK); setfillstyle(1,WHITE); }
    x1=sta_main[menu]; x2=x1+len_main[menu];

    mouse_position(&mpx,&mpy);
    if(mpx>x1 && mpx<x2 && mpy>30 && mpy<51) hide_mouse();
    bar(x1,30,x2,51);
    Outthai(x1+18,MUG[menu].row[0],MUG[menu].item[0].choice);
    show_mouse();
}
/*****
void Normal_menu(int menu)
{
    hide_mouse();
    LoadImage(menu,1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    show_mouse();
}

/*****/

void Inverse_menu(int menu)
{
    hide_mouse();
    SaveImage(menu);
    if(MUG[menu].mem_status==1)
        LoadImage(menu,0);
    else
    { Display_Menu(menu);
      if(!MUG[menu].mem_status){
          getimage(MUG[menu].area[0],MUG[menu].area[1],
                  MUG[menu].area[2],MUG[menu].area[3],
                  MUG[menu].mem_window);
          MUG[menu].mem_status=1; }
      } show_mouse();
    }
/*****/

void SaveImage(int menu)
{ unsigned size;

    size=imagesize(MUG[menu].area[0], MUG[menu].area[1],
                  MUG[menu].area[2], MUG[menu].area[3]);

    if((OldImage=farmalloc(size))!=NULL)
        getimage(MUG[menu].area[0], MUG[menu].area[1],
                  MUG[menu].area[2], MUG[menu].area[3],OldImage);
    else{
        printf("%c","\07");
        Outtxt(" ไม่สามารถจองหน่วยความจำได้ ");
        getch();
    }
}

```

```

/*****/
void LoadImage(int menu,int old)
{
    if(OldImage!=NULL && old){
        putimage(MUG[menu].area[0],MUG[menu].area[1],OldImage,0);
        farfree(OldImage);
    }
    if(!old) putimage(MUG[menu].area[0],MUG[menu].area[1],
        MUG[menu].mem_window,0);
}
/*****/
void check_type()
{
    MUG[1].item[1].choice = " สายอากาศยากิ";
    MUG[1].item[2].choice = " สายอากาศไดโพลขนาดเล็ก";
    MUG[1].item[3].choice = " สายอากาศไดโพลลดตัวนำยาว";
    if(type_ant==1) MUG[1].item[1].choice = "_สายอากาศยากิ";
    if(type_ant==2) MUG[1].item[2].choice = "_สายอากาศไดโพลขนาดเล็ก";
    if(type_ant==3) MUG[1].item[3].choice = "_สายอากาศไดโพลลดตัวนำยาว";
}
/*****/
void Select_Menu(int menu)
{
    struct menu_status M;
    int new_choice,new_menu=0;
    int sts,i;
    int mpx,mpy;

    M.choice=new_choice=MUG[menu].last_item;
    M.menu=menu;
    ShowTitleMenu(M.menu,INVERSE);

    do{
        while(bioskey(1)==0)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(leftp())
{
    mouse_position(&mpx,&mpy);
    if(mpy>28 && mpy<52)      M=Clik_head(M,mpx);
    else if(M.window==ON)
        if(mpx > MUG[M.menu].area[0] && mpx < MUG[M.menu].area[2] &&
            mpy > MUG[M.menu].area[1] && mpy < MUG[M.menu].area[3])
            {
                M=Check_row(M,mpy);
                Exec_Func(M.menu,M.choice);
            }
    mouse_position(&mpx,&mpy);  mouse_reset();
    set_mouse_position(mpx,mpy); show_mouse();
}
switch(M.key=bikey(0)){
case LEFT : if(M.menu == 0) new_menu = MAX_MENU;
             else new_menu = M.menu-1;
case RIGHT : if(M.key==RIGHT)
              if(M.menu==MAX_MENU) new_menu = 0;
              else new_menu = M.menu+1;
              ShowTitleMenu(M.menu,NORMAL);
              M.choice=new_choice=MUG[new_menu].last_item;
              if(M.window==ON)
              { Normal_menu(M.menu);
                Inverse_menu(new_menu);
                if(new_menu==1){ check_type();
                Show_item(1,type_ant,NORMAL); }
                Show_item(new_menu,M.choice,INVERSE);
              }
              ShowTitleMenu(new_menu,INVERSE);
              M.menu=new_menu;
              break;

case UP   : if(M.window==ON){
              if(M.choice == 1)
                  new_choice = end_item[M.menu];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else new_choice = M.choice-1;

Show_item(M.menu,M.choice,NORMAL);

Show_item(M.menu,new_choice,INVERSE);

M.choice=MUG[M.menu].last_item=new_choice;
}

break;

case DOWN : if(M.window==ON){

    if(M.choice == end_item[M.menu])

        new_choice = 1;

    else new_choice = M.choice+1;

    Show_item(M.menu,M.choice,NORMAL);

    Show_item(M.menu,new_choice,INVERSE);

    M.choice=MUG[M.menu].last_item=new_choice;

}

else{ M.window=ON;

    Inverse_menu(M.menu);

    if(M.menu==1) check_type();

    Show_item(M.menu,M.choice,INVERSE); }

break;

case RETURN: if(M.window==ON){ Normal_menu(M.menu);

    M.window=OFF;

    Exec_Func(M.menu,M.choice); }

else{ M.window=ON;

    Inverse_menu(M.menu);

    if(M.menu==1) check_type();

    Show_item(M.menu,M.choice,INVERSE); }

break;

case ESC : if(M.window==ON){ M.window=OFF;

    Normal_menu(M.menu); }

break;

}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}while(M.key!=ALT_X);
}

/*****/

struct menu_status Clic_head(struct menu_status M,int mpx)
{ int new_menu,i;

hide_mouse();
for(i=0; i<=MAX_MENU; i++)
    if(mpx>=sta_main[i] && mpx<=sta_main[i]+len_main[i])
        { new_menu = i; break; }
if(i==7){ show_mouse(); return M; }

if(new_menu!=M.menu){ ShowTitleMenu(M.menu,NORMAL);
                      ShowTitleMenu(new_menu,INVERSE); }
if(M.window==ON) { Normal_menu(M.menu);
                  if(new_menu==M.menu) M.window=OFF;
                  else{ Inverse_menu(new_menu);
                         M.choice=MUG[new_menu].last_item;
                         Show_item(new_menu,M.choice,INVERSE); }
                  }
else{ M.window=ON;
      Inverse_menu(new_menu);
      M.choice=MUG[new_menu].last_item;
      Show_item(new_menu,M.choice,INVERSE); }

M.menu=new_menu;
show_mouse();
return M;
}

/*****/

struct menu_status Check_row(struct menu_status M,int mpy)
{ int i;

for(i=1; i<=end_item[M.menu]; i++)

```

```

        if(mpy<MUG[M.menu].row[i]+15){ M.choice=i; break; }
MUG[M.menu].last_item=M.choice;
Normal_menu(M.menu);
M.window=OFF;
return M;
}

/*****/

int short thai=OFF;
unsigned char inputstr[255];
unsigned char font[4080];
unsigned char thaikey[96];

void KMIT(void)
{
    int i;
    unsigned kmit1[27] = {0x0020,0x0020,0x0820,0x0421,0x0202,0x0104,
                          0x0000,0x3f07,0x0020,0x0124,0x0222,0x0471,
                          0x0850,0x1070,0x20f8,0x40a8,0x83fe,0x12aa,
                          0x0fff,0x0f07,0x0603,0x0603,0x2202,0x1603,
                          0x1e03,0x1603,0x0c01};
    unsigned kmit2[27] = {0x00,0x00,0x80,0x00,0x00,0x00,0x00,0xe0,
                          0x00,0x00,0x00,0x00,0x80,0x40,0x20,0x10,
                          0x08,0x40,0x80,0x80,0x00,0x00,0x20,0x40,
                          0xc0,0x40,0x80};

    setcolor(RED);
    for(i=0;i<27;i++){
        setlinestyle(USERBIT_LINE,kmit1[i],1);
        line(22,1+i,7,1+i);
        setlinestyle(USERBIT_LINE,kmit2[i],1);
        line(30,1+i,23,1+i);
    }
    setlinestyle(0,0,1);
    setcolor(BLACK);

```

```

    Outthai(200,11," โปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศ");
    setcolor(YELLOW);
    Outthai(199,10," โปรแกรมช่วยออกแบบสายอากาศ");
    setcolor(LIGHTRED);
    line(15,7,17,7); line(16,6,16,8);
    moveto(17,20); lineto(18,21); lineto(15,24); lineto(15,26);
    lineto(16,27); lineto(17,27); lineto(18,26); lineto(17,25);
    line(17,24,18,24); line(18,26,19,26);
}

/*****/
void Readfont(void)
{
    int file;

    file = open("thaieng.fon",1);
    read(file,thaikey,96);
    read(file,font,4080);
    close(file);
}

/*****/
void Showchar(int x,int y,unsigned char ASCII)
{
    int k;
    for(k=0;k<=15;k++)
        if(font[(ASCII-1)*16+k] !=0)
        {
            if((biosequip()&48)==48) setlinestyle(4,font[(ASCII-1)*16+k]<<7,1);
            else setlinestyle(4,font[(ASCII-1)*16+k],1);
            line(x,y+k,x+15,y+k);
        }
    setfillstyle(1,getcolor());
}

/*****/
void Outthai(int column,int row,char *contents)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
int k,mpy,mpx;
unsigned char asc,num=0,ASCII;

for(k=0;k<strlen(contents);k++)
{
    mpy=0; mpx=0;
    if(contents[k]==(char)14)
        { num+=82; k++; if(num>82) num=0; }
    if(tolower(contents[k])>160) asc=tolower(contents[k]);
    else asc=toascii(contents[k]);
    if(tolower(contents[k+1])>160) ASCII=tolower(contents[k+1]);
    else ASCII=toascii(contents[k+1]);
    if((asc>47) & (asc<58)) asc=asc+num;
    if(ASCII>223){
        if(asc==217) {asc=ASCII+14; k++;}
        if(asc==218) {asc=ASCII+19; k++;}
        if(asc==219) {asc=ASCII+23; k++;}
        if(asc==220) {asc=ASCII+27; k++;}
        if(asc==221) {asc=ASCII+10; k++;}
    }
    if(asc==207) { Showchar(column-8,row-16,222); asc=206; }
    if(ASCII==207)
        if(asc>223){
            Showchar(column-8,row-16,asc+6);
            asc=206; k++;
        }
    if(asc>216){ mpy=-16; mpx=-8; }
    if((asc<217)&(asc>214)){ mpy=8; mpx=-8; }
    Showchar(column+mpx,row+mpy,asc);
    if(asc<215) column+=8;
}
setlinestyle(SOLID_LINE,0,NORM_WIDTH);
}

```

```
/******
```

```
void Outtxt(char str[])
```

```
{
    setfillstyle(1,LIGHTRED);
    bar(4,450,219,475);
    setcolor(WHITE);
    Outthai(4,457,str);
    while(bioskey(0)!=ESC) ;
    setfillstyle(1,BLUE);
    bar(4,450,219,475);
}
```

```
int Shell()
```

```
{ int result;

    restorecrtmode();
    highvideo();
    cprintf("Type EXIT Return To Antenna Program...\n");
    result=system("");
    if(result== -1)
    { printf("%c",'\07');
      cprintf("\n Can't find COMMAND.COM ");
      getch();
    }
    normvideo();
    setgraphmode(getgraphmode());
}
```

```
void clear_client(x1,y1,x2,y2,color)
```

```
int x1,y1,x2,y2,color;
{
    setfillstyle(1,color);
    bar(x1,y1,x2,y2);
}
```

```

struct DATA{ float Reflector;

               float Director_A;

               float Director_B;

               float Distance;

};

```

```

float Gain,Lambda,d2l,part_ant[18],part_ll[18],boom,distance[18];

```

```

void design()

```

```

{ int i,j,k,Code;

  float dist,d2ll;

  struct DATA dat[145];

  int NO_e[]={ 3, 5, 6, 12, 17, 15 };

  float L_b[]={ 0.4 , 0.8 , 1.2 , 2.2 , 3.2 , 4.200 };

  float L_r[]={ 0.482, 0.482, 0.482, 0.482, 0.482, 0.475 };

  float L_d[][6]=

    {{ 0, 0, 0, 0, 0, 0 },

     { 0.442, 0.428, 0.428, 0.432, 0.428, 0.424 },

     { 0, 0.424, 0.420, 0.415, 0.420, 0.424 },

     { 0, 0.428, 0.420, 0.407, 0.407, 0.420 },

     { 0, 0, 0.428, 0.398, 0.398, 0.407 },

     { 0, 0, 0, 0.390, 0.394, 0.403 },

     { 0, 0, 0, 0.390, 0.390, 0.398 },

     { 0, 0, 0, 0.390, 0.386, 0.394 },

     { 0, 0, 0, 0.390, 0.386, 0.390 },

     { 0, 0, 0, 0.398, 0.386, 0.390 },

     { 0, 0, 0, 0.407, 0.386, 0.390 },

     { 0, 0, 0, 0, 0.386, 0.390 },

     { 0, 0, 0, 0, 0.386, 0.390 },

     { 0, 0, 0, 0, 0.386, 0.390 },

     { 0, 0, 0, 0, 0.386, 0 },

     { 0, 0, 0, 0, 0.386, 0 }};

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
float d_d[]  ={ 0.20, 0.200, 0.250, 0.200, 0.200, 0.308 };
float T_gain[]={ 7.10, 9.200, 10.20, 12.25, 13.40, 14.20 };
int   Grp_no[]={ 1,   3,   3,   3,   3,   4 };
FILE  *fp;
```

```
if((fp=fopen("design.dat","rb"))!=NULL)
```

```
{
    fread(&dat, sizeof(dat), 1, fp);
    fclose(fp);
```

```
Lambda=CV/freq;
```

```
d2l=d2l1=dm/Lambda;
```

```
d2l1*=10000; d2l1=floor(d2l1);
```

```
for(Code=0; Code<6; Code++)
```

```
    if(NO_e[Code]==nelem) break;
```

```
Gain=T_gain[Code];
```

```
for(i=1; i<NO_e[Code]; i++) distance[i]=d_d[Code];
```

```
distance[1]=0.2;
```

```
boom=L_b[Code];
```

```
for(i=NO_e[Code]-2; i>0; i--)
```

```
{
    if(L_d[i][Code] != L_d[1][Code])
```

```
{
```

```
    for(j=pCenter; j<145; j++)
```

```
        if(Grp_no[Code]!=1)
```

```
        {
```

```
            if(dat[j].Director_B == L_d[i][Code]) break;
```

```
        }
```

```
    else if(dat[j].Director_A == L_d[i][Code]) break;
```

```
    dist = sqrt(pow(dat[j-1].Distance-dat[pCenter].Distance,2)+
```

```
                pow(L_d[i][Code]-L_d[1][Code],2));
```

```
    for(j=d2l1; j<145; j++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(Grp_no[Code]!=1)
{
    if((sqrt(pow(dat[j].Distance-dat[d2l1].Distance,2)+
        pow(dat[d2l1].Director_B-dat[j].Director_B,2)))>=dist)
        break;
    part_ant[i+2] = dat[j-1].Director_B;
}
else
{
    if((sqrt(pow(dat[j].Distance-dat[d2l1].Distance,2)+
        pow(dat[d2l1].Director_A-dat[j].Director_A,2)))>=dist)
        break;
    part_ant[i+2] = dat[j-1].Director_A;
}
}
else if(Grp_no[Code]!=1)
    part_ant[i+2] = dat[d2l1].Director_B;
    else part_ant[i+2] = dat[j-1].Director_A;
}
part_ant[1] = L_r[Code] = dat[d2l1].Reflector;
if(Grp_no[Code]==4) part_ant[1]-=0.006;

part_ant[2]=0.466;

for(i=3; i<=NO_e[Code]; i++)
    if(Grp_no[Code]==3) part_ant[i]-=0.003;
    else if(Grp_no[Code]>3) part_ant[i]-=0.0074;

for(i=1; i<=NO_e[Code]; i++)
{ part_ll[i] = part_ant[i];
  part_ant[i]*=Lambda; }
}
else{ printf("%c",'\07');
      Outtxt(" ไม่พบแฟ้ม Design.dat ");

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
}

void show_value()          /* Show Value of Antenna */
{
    int i,j,x1,y1,x2,y,check=1;
    char mess[50];

    for(i=1; i<=nelem; i++)
        if(part_ll[i]<=0) check=0;
    if(check){
        stsWork[0]=1;
        dialog_box_yagi(0,0,130,nelem,3,1);
        x1=170; y1=65; x2=285;
        if(nelem<13) y1+=35;
        if(nelem==2) y1+=12;
        setcolor(YELLOW);
        for(i=1; i<=nelem; i++)
        { sprintf(mess,"%0.3f",part_ll[i]);
            j = textwidth(mess)/2;
            y = y1+16+((i-1)*23);
            outtextxy(x1+40-j,y,mess);
            sprintf(mess,"%0.3f",part_ll[i]*(CV/freq));
            j = textwidth(mess)/2;
            outtextxy(x2+40-j,y,mess);
        }
        bioskey(0);
        clear_client(40,55,400,475,BLUE);
    }
    else{ printf("%c","\07");
        Outtxt(" ส่วนประกอบสายอากาศไม่สมบูรณ์ ");
        stsWork[0]=0;
    }
    setcolor(BLACK);
}

```

```

}

void creat_ant()
{
    int i,j,x,y,sts=1;
    char strg[50];

    hide_mouse();
    x=100; y=120;
    clear_client(5,52,430,475,BLUE);
    switch(type_ant){
        case 1: setcolor(BLACK);
            do{
                dialog_box_yagi(0,0,130,0,3,0);
                Outthai(x+18,y+15,"ความถี่ใช้งาน MHz");
                getstrg(x+135,y+18,strg,3); freq=atof(strg);
            }while((freq<3 || freq>3000) && strcmp(strg,""));
            if(freq){
                do{
                    dialog_box_yagi(0,40,130,32,3,0);
                    Outthai(x+15,y+55,"จำนวนอิลิเมนต์ อัน");
                    getstrg(x+135,y+58,strg,3); nelelem=atoi(strg);
                }while((nelelem<2 || nelelem>17) && strcmp(strg,""));
                if(nelelem){
                    dialog_box_yagi(0,80,165,0,3,0);
                    Outthai(x+12,y+95,"เส้นผ่าศูนย์กลางอิลิเมนต์ ซม.");
                    getstrg(x+170,y+98,strg,3); dm=atof(strg);
                    if(!dm) sts=0;
                }
            }
            if(!sts) clear_client(x,y,400,245,BLUE);
        else
            if((nelelem==3||nelelem==5||nelelem==6||nelelem==12||
                nelelem==15||nelelem==17) && NBS)
            {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        clear_client(x,y,400,245,BLUE);
        design();
        inform_box();
        show_value();
    }
    else if(nelem){
        clear_client(x,y,400,245,BLUE);
        put_value();
        clear_client(x-25,y,400,245,BLUE);
        inform_box();
        show_value();
    }
    /* if enter value yourself */
}
break;
case 2:
case 3: setcolor(BLACK);
do{
    dialog_box_yagi(0,0,130,0,3,0);
    Outthai(x+18,y+15,"ความถี่ใช้งาน          MHz");
    getstrg(x+135,y+18,strg,3); freq=atof(strg);
}while((freq<3 || freq>3000) && strcmp(strg,""));
if(freq){
do{
    dialog_box_yagi(0,40,130,32,3,0);
    Outthai(x+15,y+55,"ความยาวไดโพล          l");
    getstrg(x+135,y+58,strg,3); llo=atof(strg);
}while((llo<=0 || llo>3) && strcmp(strg,""));
if(llo){
do{
    dialog_box_yagi(0,80,165,0,3,0);
    Outthai(x+12,y+95,"เส้นผ่าศูนย์กลางอิเลเมนต์          cm.");
    getstrg(x+170,y+98,strg,3); dm=atof(strg);
}while((dm<=0 || dm>4) && strcmp(strg,""));
if(dm){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        nelem = 1;
        wire_dipole();
        inform_box();
        put_inform(0);
        stsWork[0] = stsWork[1] = 1;
    }
}

break;

}

clear_client(x-20,y,400,245,BLUE);
show_mouse();
}

put_value()
{
    int x,y,i,check=1;
    char st[100];

    x=100; y=120;

    setcolor(BLACK);
    Lambda=CV/freq;
    d2l=dm/Lambda;
    for(i=1; i<=nelem; i++)
    {
        if(check){
            button(x-20,y,x+80,y+32,7,1,"ความยาว",2);
            do{
                dialog_box_yagi(0,40,130,50,3,0);
                if(i==1) Outthai(x+18,y+55,"รีเฟล็กเตอร์");
                else if(i==2) Outthai(x+18,y+55,"ไดรฟ์เวอร์");
                else{ Outthai(x+18,y+55,"ไครเรเตอร์");
                sprintf(st," %d",i-2);
                Outthai(x+18,y+55,st);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

    getstrg(x+135,y+58,st,3); part_ll[i]=atof(st);
}while((part_ll[i]<=0 || part_ll[i]>1) && strcmp(st,""));
if(!strcmp(st,"")) check=0;
else part_ant[i] = part_ll[i]*Lambda;
}
}
if(check)
for(i=1; i<nelem; i++)
{
button(x-20,y,x+80,y+32,7,1,"ระยะห่าง",2);
if(check){
do{
dialog_box_yagi(0,40,200,-20,5,0);
if(i==1) Outthai(x+15,y+55,"รีเฟล็กเตอร์ & ไคร์ฟเวอร์ 1");
else if(i==2) Outthai(x+13,y+55,"ไคร์ฟเวอร์ & ไคเร็กเตอร์ 1");
else{ Outthai(x+12,y+55,"ไคเร็กเตอร์ & ไคเร็กเตอร์ 1");
sprintf(st," %d %d",i-2,i-1);
Outthai(x+12,y+55,st);
}
getstrg(x+205,y+58,st,5); distance[i]=atof(st);
}while((distance[i]<=0 || distance[i]>10) && strcmp(st,""));
if(!strcmp(st,"")) check=0;
}
}
if(check) stsWork[0]=1; else stsWork[0]=0;
}

```

```

put_inform(int k)
{
int i,x1,y1,x2;
float f;
char strg[20],ch;

```

```

x1=430; y1=91; x2=636;
setcolor(WHITE);
if(k || !k){
    sprintf(strg,"%2f",freq);
    outtextxy(x1+102+((x2-38-x1-102)/2)-(textwidth(strg)/2),y1+18,strg);

    sprintf(strg,"%2f",Lambda=CV/freq);
    outtextxy(x1+102+((x2-38-x1-102)/2)-(textwidth(strg)/2),y1+46,strg);

    sprintf(strg,"%4f",d2l=dm/Lambda);
    outtextxy(x1+80+((x2-38-x1-80)/2)-(textwidth(strg)/2),y1+74,strg);

    sprintf(strg,"%2f",Zo);
    outtextxy(x1+80+((x2-38-x1-80)/2)-(textwidth(strg)/2),y1+102,strg);
}
if(!k){
    sprintf(strg,"%2f",calc_SWR());
    outtextxy(x1+102+((x2-38-x1-102)/2)-(textwidth(strg)/2),y1+140,strg);

    sprintf(strg,"%2f",20*log10(calc_SWR()));
    outtextxy(x1+102+((x2-38-x1-102)/2)-(textwidth(strg)/2),y1+168,strg);

    sprintf(strg,"%2f",calc_F2B());
    outtextxy(x1+102+((x2-38-x1-102)/2)-(textwidth(strg)/2),y1+196,strg);

    if((i=calc_BeamWidth())==0) strg[0]='\0';
    else{ sprintf(strg,"%d๘",i);
        outtextxy(x1+14+((x2-110-x1-14)/2)-(textwidth(strg)/2),y1+256,strg);
    }
    sprintf(strg,"%3f",(Zin-Zo)/(Zin+Zo));
    outtextxy(x1+110+((x2-14-x1-110)/2)-(textwidth(strg)/2),y1+256,strg);

    if(zii<0) ch='-'; else ch='+';
    sprintf(strg,"%1f %c j%1f ",Zin,ch,fabs(zii));

```

```

outtextxy(x1+14+((x2-14-x1-14)/2)-(textwidth(strg)/2),y1+305,strg);
}
}

void save_ant(void)
{
    FILE *fp;
    int i;

    if((fp=fopen(wfname,"wb"))!=NULL){
        ant.frequency = freq;
        ant.elem      = nelem;
        ant.dia_e      = dm;
        for(i=1; i<18; i++){
            {
                ant.lenght[i] = part_ll[i];
                ant.dist[i]   = distance[i];
            }
        }
        fwrite(&ant,sizeof(struct ANTENNA),1,fp);
        fclose(fp);
        stsWork[5] = 1;
    }
    else{ printf("%c","\07");
        Outtxt(" ไม่สามารถจัดเก็บข้อมูลได้");
        stsWork[5] = 0;
    }
}

void load_ant(void)
{
    FILE *fp;
    int i;

    if((fp=fopen(wfname,"rb"))!=NULL)

```

```

{
    fread(&ant,sizeof(struct ANTENNA),1,fp);
    fclose(fp);
    freq = ant.frequency;
    nelem = ant.elem;
    dm = ant.dia_e;
    Lambda= CV/freq;
    d2l = dm/Lambda;
    for(i=1; i<8; i++)
    {
        part_ll[i] = ant.lenght[i];
        distance[i] = ant.dist[i];
    }
    stsWork[6] = 1;
}
else{ printf("%c","\07");
    Outtxt(" ไม่สามารถเปิดแฟ้มข้อมูลได้");
    stsWork[6] = 0;
}
}

void please_wait()
{
    dialog_box_yagi(27,0,32,100,4,0);
    setcolor(YELLOW);
    Outthai(170,134,"Please wait");
}

void Exec_Func(int menu_N,int item_N)
{ int i,sts=0,j;
    float Buf;
    char wcrd[MAXPATH],strg[50];

    if((OldImage=farmalloc(imagesize(100,120,380,160)))!=NULL)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{ getimage(100,120,380,160,OldImage); sts=1; }
switch(menu_N) {
case 0: switch(item_N)
{
case 1: if(stsWork[0]) stsWork[0] = 0;
        stsWork[1] = 0;
        creat_ant();
        break;
case 2: hide_mouse();
        clear_client(5,52,430,475,BLUE);
        _window(100,120,380,150,6,9);
        setviewport(100,120,380,150,1);
        setcolor(WHITE);
        outtextxy(10,12,"Enter filename :");
        getstrg(143,12,wfname,9); /*wcrd,9)*/
/* strcpy(wfname,fbuf[i=find(wcrd)]);*/
        setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
        load_ant();
        if(stsWork[6]){
            stsWork[0] = type_ant = 1; stsWork[1] = 0;
            clear_client(5,52,430,475,BLUE);
            inform_box();
            show_value();
            setcolor(LIGHTGREEN); Outthai(528,440,wfname);
        }
        clear_client(5,52,430,475,BLUE);
        show_mouse();
        break;
case 3: if(stsWork[0])
{
        hide_mouse();
        _window(100,120,380,150,6,9);
        setviewport(100,120,380,150,1);
        setcolor(WHITE);

```

```

        outtextxy(10,12,"Enter filename :");
        getstrg(143,12,wfname,9);
        if(strcmp(wfname,"")){
            save_ant();
            setcolor(LIGHTGREEN); Outthai(528,440,wfname);
        }
        setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
        if(sts) putimage(100,120,OldImage,0);
        show_mouse();
    }
    break;
case 4: Shell();
        Display_Main_Menu();
        ShowTitleMenu(menu_N,INVERSE);
        if(stsWork[2]){
            hide_mouse();
            Pattern(LIGHTCYAN);
            plot_pattern(YELLOW,tp);
            show_mouse();
        }
        break;
case 5: for(i=0;i<=MAX_MENU;i++) farfree(MUG[i].mem_window);
        bioskey(1);
        closegraph();
        exit(0);
        break;
};
break;
case 1: switch(item_N){          /* mark menu */
        case 1: type_ant=1; break;
        case 2: type_ant=2; break;
        case 3: type_ant=3; break;
    };
    check_type();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

inform_box();

break;

case 2: switch(item_N){

    case 1: hide_mouse();

        if(!stsWork[3])

        {   inform_box();

            if(stsWork[1]) put_inform(0);

            stsWork[3]=1;

        }

        show_mouse();

        break;

    case 2: hide_mouse();

        if(type_ant==1){

            if(!stsWork[1]){

                if(stsWork[0]){

                    please_wait();

                    yagi();

                    put_inform(0);

                    Pattern(LIGHTCYAN);

                    plot_pattern(YELLOW,tp=1);

                    stsWork[1] = stsWork[2] = 1;

                }

            }

            else{ Pattern(LIGHTCYAN);

                if(tp==1){ plot_pattern(YELLOW,2); tp=2; }

                else{   plot_pattern(YELLOW,1); tp=1; }

                stsWork[2] = 1;

            }

        }

        if(type_ant==2 || type_ant==3){

            if(!stsWork[1]){

                please_wait();

                wire_dipole();

                inform_box(); put_inform(0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }

    Pattern(LIGHTCYAN);

    plot_pattern(YELLOW,1);

    }

    show_mouse();

    break;

case 3: if(nelem){

    hide_mouse();

    clear_client(5,52,430,475,BLUE);

    show_value();

    show_mouse();

    }

    break;

case 4: hide_mouse();

    if(stsWork[0] && stsWork[1]){

        display_ant(); /* routine display antenna */

        Display_Main_Menu();

        ShowTitleMenu(menu_N,INVERSE);

        if(stsWork[2]){

            Pattern(LIGHTCYAN);

            plot_pattern(YELLOW,tp);

            put_inform(0);

        }

    }

    show_mouse();

};

break;

case 3: if(stsWork[0]){

    setcolor(BLACK);

    hide_mouse();

    switch(item_N){

        case 1: /* change frequency */

            do{

                dialog_box_yagi(0,0,130,0,3,0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Outthai(118,135,"ความถี่ใช้งาน          MHz");
        getstrg(235,138,strg,3);  Buf=atof(strg);
    }while((Buf<3 || Buf>3000) && strcmp(strg,""));
    if(strcmp(strg,"")){
        freq = Buf;
        inform_box();
        put_inform(1);
        clear_client(5,52,430,475,BLUE);
        stsWork[1]=0; stsWork[4]=1;
    }
    if(sts && !strcmp(strg,"")) putimage(100,120,OldImage,0);
    break;

case 2: /* change diameter */
do{
    dialog_box_yagi(0,0,165,0,3,0);
    Outthai(112,135,"เส้นผ่าศูนย์กลางอิทธิเมนต์      ซม.");
    getstrg(270,138,strg,3);  Buf=atof(strg);
}while((Buf<=0 || Buf>4) && strcmp(strg,""));
if(strcmp(strg,"")){
    dm = Buf;
    inform_box();
    put_inform(1);
    clear_client(5,52,430,475,BLUE);
    stsWork[1]=0;  stsWork[4]=1;
}
if(sts && !strcmp(strg,"")) putimage(100,120,OldImage,0);
break;

case 3: /* change lenght element */
if(type_ant==1)
{
do{
    dialog_box_yagi(0,0,130,60,3,0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Outthai(118,135,"เปลี่ยนอติเม้นท์ที่");
getstrg(235,138,strg,3); j=atof(strg);
}while((j<1 || j>nelem) && strcmp(strg,""));
if(strcmp(strg,""))
{
do{
dialog_box_yagi(0,0,130,50,3,0);
if(j==1) Outthai(118,135,"รีเฟล็กเตอร์");
else if(j==2) Outthai(118,135,"ไครฟ์เวอร์");
else{ Outthai(118,135,"ไคเร็กเตอร์");
sprintf(strg,"%d",j-2);
Outthai(118,135,strg); }
getstrg(235,138,strg,3); Buf=atof(strg);
}while((Buf<=0 || Buf>1) && strcmp(strg,""));
if(strcmp(strg,"")){
part_ll[j] = Buf;
inform_box();
put_inform(1);
clear_client(5,52,430,475,BLUE);
stsWork[1]=0; stsWork[4]=1; }
}
if(sts && !strcmp(strg,"")) putimage(100,120,OldImage,0);
}

if(type_ant==2 || type_ant==3){
do{
dialog_box_yagi(0,0,130,32,3,0);
Outthai(118,135,"ความยาวไคโพล");
getstrg(235,138,strg,3); Buf=atof(strg);
}while((ll0<=0 || ll0>3) && strcmp(strg,""));
if(strcmp(strg,"")){
ll0 = Buf;
inform_box();
put_inform(1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        clear_client(5,52,430,475,BLUE);
        stsWork[1]=0; stsWork[4]=1;
    }
    if(sts && !strcmp(strg,"")) putimage(100,120,OldImage,0);
}

break;
}
show_mouse();
}
break;

case 4: if(!stsWork[1] && type_ant==1 && stsWork[0])
{
    please_wait();
    yagi();
    if(sts) putimage(100,120,OldImage,0);
    stsWork[1]=1;
}
if(stsWork[1])
switch(item_N){
    case 1:
    case 2:
    case 3:
    case 4:
    case 5: if(type_ant==1)
        if(!stsWork[4] && stsWork[3]==1)
        { put_inform(0);
          stsWork[4]=1;
        }
        else{ inform_box();
              put_inform(0);
            }
        }
    break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    };
    break;
case 5: switch(item_N){ /* Help */
    case 1: if(NBS){
        MUG[5].item[1].choice = " ใช้วิธีการของ NBS";
        NBS = 0;
    }
    else{ MUG[5].item[1].choice = " _ใช้วิธีการของ NBS";
        NBS = 1;
    }
    break;
case 2: About();
    break;
};
break;
}
farfree(OldImage);
}

display_ant()
{
    int i, x1, y1, x2, y2, xx, yy;
    char str[60];
    float fact=1.0,Boom=0.0;

    cleardevice();
    if(nelem<13) fact = 1.4;
    x1=0; x2=((nelem-1)*30)*fact;
    x1=(639-x2)/2; x2+=x1;
    y1=70; y2=170;
    setcolor(LIGHTRED);
    rectangle(0,0,getmaxx(),getmaxy());
    line(0,240,639,240);
    line(240,240,240,479);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setcolor(RED); Outthai((x1+30*fact)+7,y1-6+(y2-y1)/2,"L");
setcolor(LIGHTGREEN);
moveto(x1,y2+20);          lineto(x1+5,y2+19);
lineto(x1+5,y2+21);        lineto(x1,y2+20);
moveto(x1+30*fact,y2+20);   lineto((x1+30*fact)-5,y2+19);
lineto((x1+30*fact)-5,y2+21); lineto(x1+30*fact,y2+20);
setcolor(RED); Outthai(x1+((30*fact)/2)-5,y2+22,"Sr");
if(nelem>3){
setcolor(LIGHTGREEN);
line(x1+60*fact, y2+10, x1+90*fact, y2+10);
moveto(x1+60*fact,y2+10);   lineto((x1+60*fact)+5,y2+9);
lineto((x1+60*fact)+5,y2+11); lineto(x1+60*fact,y2+10);
moveto(x1+90*fact,y2+10);   lineto((x1+90*fact)-5,y2+9);
lineto((x1+90*fact)-5,y2+11); lineto(x1+90*fact,y2+10);
setcolor(RED); Outthai(x1+((150*fact)/2)-5,y2+12,"Sd");
}
setcolor(LIGHTGREEN);
if(nelem>2){
moveto(x2+11,y1+5);         lineto(x2+9,y1+5);
lineto(x2+10,y1);           lineto(x2+11,y1+5);
moveto(x2+11,y2-5);         lineto(x2+9,y2-5);
lineto(x2+10,y2);           lineto(x2+11,y2-5);
setcolor(BLACK); line(x2+10,y1+8+(y2-y1)/2,x2+10,y1-8+(y2-y1)/2);
setcolor(RED); Outthai(x2+5,y1-6+(y2-y1)/2,"Ld");
}
for(i=1; i<nelem; i++) Boom+=distance[i];
setcolor(YELLOW);
x1=260; y1=260;
sprintf(str,"Frequency %.1f MHz",freq);
outtextxy(x1,y1,str);
sprintf(str,"Wave length %.1f cm.",Lambda);
outtextxy(x1,y1+25,str);
sprintf(str,"Boom's length %.1f cm.",Boom);
outtextxy(x1,y1+50,str);

```

```

sprintf(str,"diameter  %.1f cm.",dm);
outtextxy(x1,y1+75,str);

x1=480; y1=260;
sprintf(str,"Lr : %.1f cm.",part_ll[1]*(CV/freq));
outtextxy(x1,y1,str);
sprintf(str,"L : %.1f cm.",part_ll[2]*(CV/freq));
outtextxy(x1,y1+12,str);
for(i=3; i<=nelem; i++){
    sprintf(str,"Ld%d : %.1f cm.",i,part_ll[i]*(CV/freq));
    outtextxy(x1,y1+(i-1)*12,str);
}

setcolor(YELLOW);
for(i=0; i<359; i++)
{
    xx = ((x[i]-219)/2)+120;
    yy = ((y[i]-262)/2)+360;
    line(xx, yy, ((x[i+1]-219)/2)+120, ((y[i+1]-262)/2)+360);
}
}
bioskey(0);
}

```

```

line(460,240,460,479);
setcolor(LIGHTBLUE);
for(i=25; i<=100; i+=25) circle(120,360,i);
line(20,360,220,360); line(120,260,120,460);
line(190,290,50,430); line(50,290,190,430);
if(type_ant==1)
{
    rectangle(x1, y1-10, x1+2, y2+10);          /* draw reflector */
    rectangle(x1+30*fact, y1-5, x1+2+30*fact, y1+45); /* draw driver */
    rectangle(x1+30*fact,y1+55, x1+2+30*fact, y2+5);
    line(x1+26*fact,y1+45, x1+30*fact, y1+45);
    line(x1+26*fact,y1+55, x1+30*fact, y1+55);
    for(i=3; i<=nelem; i++)
        rectangle(x1+(((i-1)*30))*fact, y1, x1+2+(((i-1)*30))*fact, y2);

    setcolor(LIGHTGREEN);
    line(x1-10, y1-10, x1-10, y2+10);          /* arrow reflector */
    line((x1+30*fact)+10, y1-5, (x1+30*fact)+10, y2+5);
    line(x2+10, y1, x2+10, y2);                  /* arrow director */
    line(x1,y2+20,x1+30*fact,y2+20);

    moveto(x1-11,y1-5);    lineto(x1-9,y1-5);
    lineto(x1-10,y1-10);   lineto(x1-11,y1-5);
    moveto(x1-11,y2+5);    lineto(x1-9,y2+5);
    lineto(x1-10,y2+10);   lineto(x1-11,y2+5);

    setcolor(BLACK); line(x1-10,y1+8+(y2-y1)/2,x1-10,y1-8+(y2-y1)/2);
    setcolor(RED); Outthai(x1-17,y1-6+(y2-y1)/2,"Lr");
    setcolor(LIGHTGREEN);
    moveto((x1+30*fact)+10,y1-5); lineto((x1+30*fact)+9,y1);
    lineto((x1+30*fact)+11,y1); lineto((x1+30*fact)+10,y1-5);
    moveto((x1+30*fact)+10,y2+5); lineto((x1+30*fact)+9,y2);
    lineto((x1+30*fact)+11,y2); lineto((x1+30*fact)+10,y2+5);
    setcolor(BLACK);
    line((x1+30*fact)+10,y1+8+(y2-y1)/2,(x1+30*fact)+10,y1-8+(y2-y1)/2);

```

```

/*****
/*      program   : Antennas Aided Design Program                      */
/*      design by : Mr.Chitsak pinrajampai  and Mr.Monsan pipatpongler  */
/*      King Mongkut Institute of Technology Ladkrabang                */
/*      file's name :  anlysis.c                                         */
/*      Borland Turbo C  V2.00                                         */
*****/

#include "antcad.h"

extern int nelemt, stsWork[];
extern float d2l,distance[18],part_ll[18],freq,dm,Lambda;
float ep[360],hp[360],x[360],y[360],rr1,rsu,ro1;
float dd[18],ii[18],ll[18],aa[18],aa0,ll0,dd1,x0,y0,x1,x2,y1,y2;
float z11,z12,z21,z22,zi0,zr0,z1=0.0,z2=0.0,zz,Zin,Zo=50,zii;
float zi[18][18],zr[18][18],bi[18][18],br[18][18],ai[18][18],ar[18][18];
double const PI=3.14159;

#define fnepd(i,PI)      fabs(sin((i-90)*PI/180))
#define fnepdx(i,PI,r)   r*cos(i*PI/180)*200+219 /* 150,200 318 */
#define fnepdy(i,PI,r)   -r*sin(i*PI/180)*200+262 /* 90,160 240 */
#define fnrprime(aa0,ll0,zz) pow((pow(aa0,2)+pow((ll0-zz),2)),0.5)
#define fnf0(zz,ll0,PI)   cos(2*PI*zz) - cos(2*PI*ll0)
#define fng0(zz,ll0,PI)   sin(2*PI*fabs(zz)) - sin(2*PI*ll0)
#define fnzmr(dd1) 30*cos(5.3*pow(dd1,1.1)-.51)*exp(.51-1.1*dd1)+10*exp(-5 *dd1)+15*exp(-6*dd1)
#define fnzmi(dd1) .5-14*sin(5.8*pow(dd1,1.1)-1.1)*exp(1.1-0.83*dd1)+60*exp(-15*dd1)-47*exp(-4*dd1)
#define fnyagi(PI,h,i)    (cos(2*PI*h*cos(i*PI/180))-cos(2*PI*h))/sin(2*pi*h)
#define fntestwire(i,PI)   sin((i-90)*PI/180)
#define fnwire(i,PI,ll)    fabs((cos(PI*1*cos((i-90)*PI/180))-cos(PI*1))/sin((i-90)*PI/180))

void pattern_e_plane(void);
void calc_impedance(int form);
float calc_SWR(void);
float read_scale(float r);

```

```

float calc_SWR()          /* Calculate SWR for  $Z_0 = 50 \Omega$  */
{
    float Grammar;

    Grammar = (Zin-Zo)/(Zin+Zo);

    return ((1+Grammar)/(1-Grammar));
}

```

```

int calc_BeamWidth()
{
    int i, j=0, mainlobe;
    float r, rr;

    mainlobe = find_majorlobe(1,0,360);
    rr=sqrt(pow((x[mainlobe]-219),2)+pow((y[mainlobe]-262),2));
    if(rr==200)
    {
        rr*=(1.0/sqrt(2));
        for(i=mainlobe; i<=mainlobe+90; i++)
        {
            r=sqrt( pow((x[i]-219),2) + pow((y[i]-262),2) );
            if((r>rr-2.5) && (r<rr+2.5)){ j=i; break; }
        }
    }
    return (2*fabs(mainlobe-j));
}

```

```

float calc_F2B()
{
    int i, j, k;
    float Flobe=0, Blobe=0, r;

    j = find_majorlobe(0,0,360);
    r = sqrt( pow((x[j]-219),2) + pow((y[j]-262),2) );
}

```

```

Flobe = read_scale(r);

j = find_majorlobe(0,j+180-60,j+180+60);
r = sqrt( pow((x[j]-219),2) + pow((y[j]-262),2) );

Blobe = read_scale(r);

return (Blobe-Flobe);  /* return (20*log10(Flobe/Blobe));*/
}

```

```

float read_scale(float r)
{
    int i, j;
    int fact[] = { 25,41,70,120,200 };
    int fact1[][11] = {{ 0,7,14,21,29,37,45,53,62,71,80 },
                        { 0,4, 8,12,17,22,27,32,38,44,50 },
                        { 0,2, 4, 6, 9,12,15,18,21,25,29 },
                        { 0,1, 3, 4, 6, 7, 9,10,12,14,16 }};

    float rr;

    for(i=0; i<4; i++)
        if(r>=fact[i] && r<=fact[i+1]) break;
    r-=fact[i];

    for(j=0; j<10; j++)
        if(r>=fact1[3-i][j] && r<fact1[3-i][j+1]) break;
    r-=fact1[3-i][j];

    rr = (40-(10*i))-j;

    if(r) rr -= r/(fact1[3-i][j+1]-fact1[3-i][j]);

    return (rr);
}

```

```

find_majorlobe(int mode,int start,int end)
{
    int i, j, mainlobe;
    float r, rr;

    rr=0.0;
    pattern_e_plane();

    if(mode) j=90; else j=1;
    if(start>=360 && end>=360){ start-=360; end-=360; }
    for(i=start; i<end; i+=j)
    {
        if(i==360){ i-=360; end-=360; }
        r=sqrt( pow((x[i]-219),2) + pow((y[i]-262),2) );
        if(r>rr){ mainlobe=i; rr=r; }
    }
    return (mainlobe);
}

/*void ideal_dipole(void)
{
    int i,j;

    for(i=0; i<=360; i++) ep[i]=fnepd(i,PI);
    for(i=0; i<=360; i++) hp[i]=1;
}
*/

void small_dipole(void)
{
    int i;
    float r;

    for(i=0; i<360; i++) ep[i]=fnepd(i,PI);

    aa0=d2l=dm/(CV/freq);

```

```

rr1=20*PI*PI*ll0*ll0;
rsu=sqrt(4*PI*PI*10000000*freq/5.7);
rol=rsu*ll0/(6*PI/aa0);

for(i=0; i<360; i++){
    r = ep[i];
    x[i] = fnepdx(i,PI,r);
    y[i] = fnepdy(i,PI,r);
}
}

calc_Rr(float l)
{
    if(l>0 && l<0.25)
        zr0 = 20*pow((PI*l),2);
    if(l>=0.25 && l<=0.5)
        zr0 = 24.7*pow((PI*l),2.4);
    if(l>0.5 && l<0.637)
        zr0 = 11.14*pow((PI*l),4.17);
}

void wire_dipole(void)
{
    int i;
    float test=0, r=0.0;

    for(i=0; i<360; i++)
    {
        if(fntestwire(i,PI)==0) ep[i] = 0;
        else ep[i] = fnwire(i,PI,ll0);
        if(ep[i]>test) test=ep[i];
    }
    for(i=0; i<360; i++)
        ep[i]=ep[i]/test;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ll0/=2.0; aa0=d2l=dm/(CV/freq);
```

```
calc_impedance(1);
```

```
calc_Rr(ll0*=2.0);
```

```
Zin = zr0; zii = -zi0;
```

```
for(i=0; i<360; i++){
```

```
    r = ep[i];
```

```
    x[i] = fnepdx(i,PI,r);
```

```
    y[i] = fnepdy(i,PI,r);
```

```
}
```

```
}
```

```
yagi()
```

```
{
```

```
    int i,j,m=0;
```

```
    float test,test1,xxi;
```

```
    for(i=1;i<=nelem;i++){
```

```
        {
```

```
            ll[i]=part_ll[i];
```

```
            aa[i]=d2l;
```

```
            if(i<nelem) dd[i]=distance[i];
```

```
        }
```

```
    for(i=1;i<=nelem;i++){
```

```
        {
```

```
            aa0=aa[i]; ll0=ll[i]/2;
```

```
            calc_impedance(0);
```

```
            zr[i][i] = zr0; zi[i][i] = zi0;
```

```
        }
```

```
    for(i=1;i<nelem;i++){
```

```
        {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

dd1 = 0.0;
for(j=i+1; j<=nelem; j++)
{
    dd1+=dd[j-1];

    zr[i][j] = fnzmr(dd1);
    zi[i][j] = fnzmi(dd1);

    if(dd1<2.8)  zi0-=9;
    if(dd1>=.28 && dd1<.45)  zi0-=9*cos((dd1-.28)*PI/.34);
    if(dd1>.45 && dd1<.8)  m+=sin((dd1-.45)*PI/.35);
}
}
for(i=nelem; i>1; i--)
for(j=i-1; j>0; j--)
{
    zr[i][j] = zr[j][i];
    zi[i][j] = zi[j][i];
}
inverse();
for(i=1; i<=nelem; i++)
{
    ii[i] = sqrt(pow(br[i][2],2)+pow(bi[i][2],2));
}

test=test1=0;
for(i=0; i<=360; i++)
{
    x0=y0=dd1=dd[0]=0;
    for(j=1; j<=nelem; j++)
    {
        dd1+=dd[j-1];

        xxi = 2*PI*dd1*cos(i*PI/180);
        x0 = x0 + br[j][2]*cos(xxi) - bi[j][2]*sin(xxi);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        y0 = y0 + br[j][2]*sin(xxi) - bi[j][2]*sin(xxi);
    }

    hp[i] = sqrt(pow(x0,2)+pow(y0,2));
    ep[i] = hp[i]*fabs(sin((i-90)*PI/180));
    if(test<ep[i]) test = ep[i];
    if(test1<hp[i]) test1 = hp[i];
}
for(i=0; i<360; i++)
{
    ep[i] /= test;
    hp[i] /= test1;
}

Zin=Zr[2][2]+Zr[2][1]; zii=-zi[2][2];
}

void calc_impedance(int form)
{
    float omega;
    float flr,fli,glr,gli,fr,fi,gr,gi;

    omega = 2.0*log(2*I10/aa0);
    flr = fli = glr = gli = 0.0;
    fr=fi=gr=gi=0.0;
    for(zz=-I10; zz<=I10; zz+=.005){
        if(form){
            fr=((fnf0(zz,I10,PI))/fnrprime(aa0,I10,zz))*cos(2*PI*fnrprime(aa0,I10,zz));
            fi=-((fnf0(zz,I10,PI))/fnrprime(aa0,I10,zz))*sin(2*PI*fnrprime(aa0,I10,zz));
            gr=((fng0(zz,I10,PI))/fnrprime(aa0,I10,zz))*cos(2*PI*fnrprime(aa0,I10,zz));
            gi=-((fng0(zz,I10,PI))/fnrprime(aa0,I10,zz))*sin(2*PI*fnrprime(aa0,I10,zz));
        }
        else{
            fr=(fnf0(zz,I10,PI))/fnrprime(aa0,I10,zz))*cos(2*PI*fnrprime(aa0,I10,zz));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(i=0;i<360;i++)
{
    r = hp[i];          /* calc point plot pattern h-plane */
    x[i] = fnepdx(i,PI,r);
    y[i] = fnepdy(i,PI,r);
}
}

```

inverse()

```

{ int r,i,j,l,k;
  float tr,ti,dummy;

  r = nelem;
  for(i=1;i<=r;i++)
  for(j=1;j<=r;j++)
  {
      ai[i][j] = zi[i][j];
      ar[i][j] = zr[i][j];
      bi[i][j] = 0;
      br[i][j] = 0;
  }
  for(j=1;j<=r;j++) br[j][j] = 1;
  for(j=1;j<=r;j++)
  {
      i = j-1;
      i++;

      if(i>r) { printf("Can't find"); return(0); }
      if(ar[i][j] != 0 || ai[i][j] != 0)
      {
          for(k=1; k<=r; k++)
          {
              dummy=ar[j][k]; ar[j][k]=ar[i][k]; ar[i][k]=dummy;
              dummy=ai[j][k]; ai[j][k]=ai[i][k]; ai[i][k]=dummy;
          }
      }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for(i=0;i<360;i++)
{
    r = hp[i];          /* calc point plot pattern h-plane */
    x[i] = fnepdx(i,PI,r);
    y[i] = fnepdy(i,PI,r);
}
}

```

```

inverse()
{ int r,i,j,l,k;
  float tr,ti,dummy;

  r = nelem;
  for(i=1;i<=r;i++)
  for(j=1;j<=r;j++)
  {
      ai[i][j] = zi[i][j];
      ar[i][j] = zr[i][j];
      bi[i][j] = 0;
      br[i][j] = 0;
  }
  for(j=1;j<=r;j++) br[j][j] = 1;
  for(j=1;j<=r;j++)
  {
      i = j-1;
      i++;

      if(i>r) { printf("Can't find"); return(0); }
      if(ar[i][j] != 0 || ai[i][j] != 0)
      {
          for(k=1; k<=r; k++)
          {
              dummy=ar[j][k]; ar[j][k]=ar[i][k]; ar[i][k]=dummy;
              dummy=ai[j][k]; ai[j][k]=ai[i][k]; ai[i][k]=dummy;
          }
      }
  }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        dummy=br[j][k]; br[j][k]=ar[i][k]; br[i][k]=dummy;
        dummy=bi[j][k]; bi[j][k]=ai[i][k]; bi[i][k]=dummy;
    }
    x1 = 1.0; y1 = 0.0;
    x2 = ar[j][j]; y2 = ai[j][j];
    ddiv();
    tr = z1; ti = z2;
    for(k=1; k<=r; k++)
    {
        x1 = tr; y1 = ti;
        x2 = ar[j][k]; y2 = ai[j][k];
        multiple();
        ar[j][k] = z1; ai[j][k] = z2;
        x2 = br[j][k]; y2 = bi[j][k];
        multiple();
        br[j][k] = z1; bi[j][k] = z2;
    }
    for(l=1; l<=r; l++)
    {
        if(l!=j){
            tr = -ar[l][j]; ti = -ai[l][j];
            for(k=1; k<=r; k++)
            {
                x1 = tr; y1 = ti;
                x2 = ar[j][k]; y2 = ai[j][k];
                multiple();
                ar[l][k] += z1; ai[l][k] += z2;
                x2 = br[j][k]; y2 = bi[j][k];
                multiple();
                br[l][k] += z1; bi[l][k] += z2;
            }
        }
    }
}

return(1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
```

```
ddiv()
```

```
{
```

```
    z1 = (x1*x2 + y1*y2) / (pow(x2,2)+pow(y2,2));
```

```
    z2 = (x2*y1 - x1*y2) / (pow(x2,2)+pow(y2,2));
```

```
    return(1);
```

```
}
```

```
multiple()
```

```
{
```

```
    z1 = (x1*x2 - y1*y2);
```

```
    z2 = (x2*y1 + x1*y2);
```

```
    return(1);
```

```
}
```

```
void mul(void)
```

```
{ int r,i,j;
```

```
    float vr[18],vi[18];
```

```
    r=nelem;
```

```
    for(i=1;i<=r;i++)
```

```
    {
```

```
        ar[i][1] = ai[i][1] = 0;
```

```
        for(j=1;j<=r;j++)
```

```
        {
```

```
            x1 = br[i][j]; y1 = bi[i][j];
```

```
            x2 = vr[j]; y2 = vi[j];
```

```
            multiple();
```

```
            ar[i][1] += z1;
```

```
            ai[i][1] += z2;
```

```
        }
```

```
    }
```

```
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

plot_pattern(int color,int type)
{
    int i;

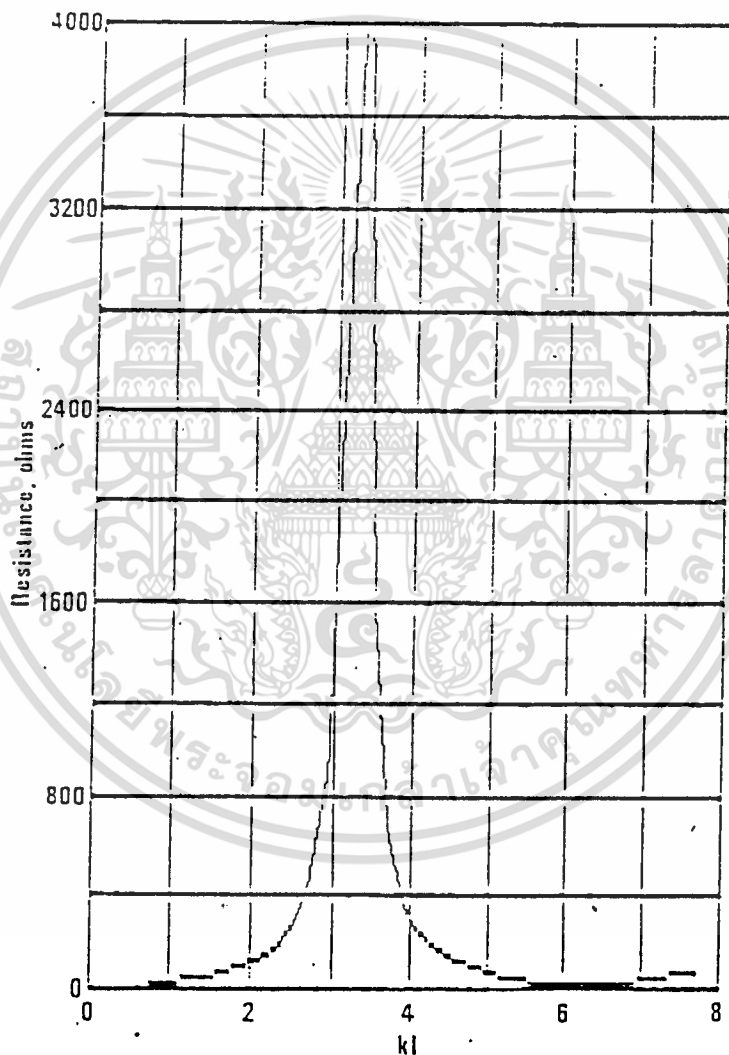
    if(type==1) pattern_e_plane();
    else if(type==2) pattern_h_plane();
    setcolor(color);
    for(i=0;i<359;i++)
        line(x[i],y[i],x[i+1],y[i+1]);
    line(x[0],y[0],x[359],y[359]);
}

```



ก. อิมพีแดนซ์

ค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลนำมาพล็อตกราฟเชิงเส้นเทียบกับความยาว λ โดยเปรียบเทียบระหว่างกราฟที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม กับ กราฟที่ได้จาก [2] ดังรูป



รูปแสดงค่าอินพุตอิมพีแดนซ์ของสายอากาศไดโพลเทียบกับความยาว λ คำนวณ โดยโปรแกรม

ข. Mutual Impedance

กราฟเชิงเส้นของ Mutual impedance ของสายอากาศไดโพลเทียบกับระยะห่าง d เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโดยโปรแกรมและ จาก [2]

